

Docket No. 220571US2/btm



2877

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Ryuuji SAKITA

GAU: 2877

SERIAL NO: 10/092,599

EXAMINER:

FILED: March 8, 2002

FOR: METHOD AND APPARATUS FOR SURFACE CONFIGURATION MEASUREMENT

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2001-064402	March 8, 2001
JAPAN	2001-290640	September 25, 2001

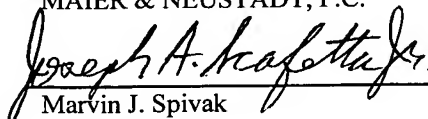
Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1 has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

RECEIVED
JUN 18 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26,803



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 3月 8日

出願番号

Application Number:

特願2001-064402

[ST.10/C]:

[JP2001-064402]

出願人

Applicant(s):

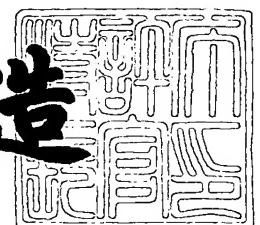
株式会社リコー

RECEIVED
JUN 18 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

2002年 3月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3014537

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100422

【提出日】 平成13年 3月 8日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G01N 21/88
G01B 11/30
G03G 21/00
G01B 11/24

【発明の名称】 表面形状測定方法及び表面形状測定装置

【請求項の数】 27

【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
【氏名】 崎田 隆二

【特許出願人】
【識別番号】 000006747
【氏名又は名称】 株式会社リコー
【代表者】 桜井 正光

【代理人】
【識別番号】 100101177
【弁理士】
【氏名又は名称】 柏木 慎史
【電話番号】 03(5333)4133

【選任した代理人】
【識別番号】 100072110
【弁理士】
【氏名又は名称】 柏木 明
【電話番号】 03(5333)4133

【選任した代理人】
【識別番号】 100102130

【弁理士】

【氏名又は名称】 小山 尚人

【電話番号】 03(5333)4133

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 063027

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9808802

【包括委任状番号】 0004335

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 表面形状測定方法及び表面形状測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系とを有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに、前記検査光学系による測定範囲を前記特定の縞次数近辺に限定して得られる、少なくとも 3 つの位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を 3 次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項 2】 前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させて前記各検査領域毎に前記被検物表面の形状を測定するようにした請求項 1 記載の表面形状測定方法。

【請求項 3】 前記光源と前記受光系との間隔を変化させることにより前記特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにした請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法。

【請求項 4】 前記被検物の位置を前記撮像カメラの光軸方向に変化させることにより前記特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにした請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法。

【請求項 5】 前記撮像カメラの光軸上における前記格子パターンの位置を変化させることにより前記特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにした請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法。

【請求項 6】 1 つの測定範囲において前記撮像カメラによる 1 回の撮像により少なくとも 3 つの位相シフトさせたモアレ縞の画像を取得するようにした請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法。

【請求項 7】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びラインセンサカメラを含む受光系と、前記格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に往復移動させる移動機構と

、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

前記移動機構により前記格子パターンを往復移動させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに、

前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項8】 モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びラインセンサカメラを含む受光系と、前記段差付き格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させる移動機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

前記移動機構により前記段差付き格子パターンを往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに、

前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項9】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びカラーセンサカメラを含む受光系と、前記格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に往復移動させる移動機構と、前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルターと、前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを切換えるフィルター切換え機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

前記移動機構により前記格子パターンを往復移動させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに前記フィルター切換え機構により前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する色フィルターを切換え、

前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得られる3色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項10】 モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びカラーセンサカメラを含む受光系と、前記段差付き格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させる移動機構と、前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルターと、前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを切換えるフィルター切換え機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

前記移動機構により前記段差付き格子パターンを往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに前記フィルター切換え機構により前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する色フィルターを切換え、

前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得られる3色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項11】 モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び3ライン以上のラインセンサを並設させたラインセンサカメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

前記ラインセンサカメラの各ラインセンサ毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介してモアレ像を撮像させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせ、

前記ラインセンサカメラの各ラインセンサ間の走査時間の同期動作により得ら

れる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項12】 モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びエリアセンサカメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、

前記エリアセンサカメラ中の少なくとも3ライン分の特定エリアに対して各ライン毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介してモアレ像を撮像させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせ、

前記エリアセンサカメラの前記特定エリアの各ライン間の走査時間の同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした表面形状測定方法。

【請求項13】 前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向と直交する方向に順次移動させるとともに、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させて前記各検査領域毎に前記被検物表面の形状を3次元的に測定することにより前記被検物表面の全面形状を測定するようにした請求項7ないし12の何れか一記載の表面形状測定方法。

【請求項14】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系とを有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせる位相シフト機構と、

測定範囲が前記特定の縞次数近辺に限定された前記撮像カメラと、

前記位相シフト機構により位相シフトされて前記撮像カメラにより撮像された少なくとも3つのモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、

を備える表面形状測定装置。

【請求項 1 5】 前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させる分割方向移動機構を備える請求項 1 4 記載の表面形状測定装置。

【請求項 1 6】 前記位相シフト機構が、前記光源と前記受光系との間隔を変化させる間隔可変機構である請求項 1 4 又は 1 5 記載の表面形状測定装置。

【請求項 1 7】 前記位相シフト機構が、前記被検物の位置を前記撮像カメラの光軸方向に変化させる被検物移動機構である請求項 1 4 又は 1 5 記載の表面形状測定装置。

【請求項 1 8】 前記位相シフト機構が、前記撮像カメラの光軸上における前記格子パターンの位置を変化させる格子パターン変位機構である請求項 1 4 又は 1 5 記載の表面形状測定装置。

【請求項 1 9】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

前記撮像カメラをラインセンサカメラとし、

前記格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に往復移動させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせる移動機構と、

前記ラインセンサカメラの 1 ラインの走査時間と前記格子パターンの往復移動との同期をとる同期手段と、

前記ラインセンサカメラの 1 ラインの走査時間と前記格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも 3 ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を 3 次元的に測定する演算処理手段と、

を備える表面形状測定装置。

【請求項 2 0】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

前記撮像カメラをラインセンサカメラとし、

前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるよ

うに設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンとし、

この段差付き格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させる移動機構と、

前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動との同期をとる同期手段と、

前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次的に測定する演算処理手段と、

を備える表面形状測定装置。

【請求項21】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

前記撮像カメラをカラーセンサカメラとし、

前記格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に往復移動させて特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせる移動機構と、

前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルターと、

前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを順次切換えるフィルター切換え機構と、

前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期をとる同期手段と、

前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得られる3色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次的に測定する演算処理手段と、

を備える表面形状測定装置。

【請求項22】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そ

のモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実
体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

前記撮像カメラをカラーセンサカメラとし、

前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるよ
うに設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き
格子パターンとし、

この段差付き格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に直交する方
向に往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させる移動機構と、

前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルタ
ーと、

前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを順次切換える
フィルター切換え機構と、

前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記段差付き
格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期をとる同期手
段と、

前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記段差付き
格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得
られる3色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により
被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、

を備える表面形状測定装置。

【請求項23】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そ
のモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実
体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるよ
うに設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き
格子パターンとし、

前記撮像カメラを各ラインセンサ毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子
面を介して特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせたモアレ像とし
て撮像するように3ライン以上のラインセンサを並設させたラインセンサカメラ

とし、

このラインセンサカメラの各ラインセンサ間の走査時間の同期をとる同期手段と、

前記ラインセンサカメラの各ラインセンサ間の走査時間の同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、
を備える表面形状測定装置。

【請求項24】 モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、

前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるように設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンとし、

前記撮像カメラを少なくとも3ライン分の特定エリアに対して各ライン毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介して特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせたモアレ像として撮像するように配設させたエリアセンサカメラとし、

前記エリアセンサカメラの前記特定エリアの各ライン間の走査時間の同期をとる同期手段と、

前記エリアセンサカメラの前記特定エリアの各ライン間の走査時間の同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、
を備える表面形状測定装置。

【請求項25】 前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、

前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向と直交する方向に順次移動させる領域内移動機構と、

前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順

次移動させる分割方向移動機構と、

を備える請求項 1 9 ないし 2 4 の何れか一記載の表面形状測定装置。

【請求項 2 6】 前記被検物として円筒状被検物を測定対象とする請求項 1 4 ないし 2 5 の何れか一記載の表面形状測定装置。

【請求項 2 7】 前記被検物として平面状被検物を測定対象とする請求項 1 4 ないし 2 5 の何れか一記載の表面形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被検物の表面欠陥検出、稜線の膨らみやうねり、凹み等の 3 次元形状変化の少ない凹凸欠陥等を検出するためのモアレ法を利用した表面形状測定方法及び表面形状測定装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

感光体ドラムなどの円筒状被検物に関する従来の欠陥検査方法として、特開平 2 - 2 0 1 1 4 2 号公報或いは特開平 4 - 1 6 9 8 4 0 号公報等示される例がある。図 3 5 は、特開平 2 - 2 0 1 1 4 2 号公報例を示す斜視図である。同図において、まず、光源 1 0 1 からのレーザ光ビーム 1 0 2 を、回転多面鏡 1 0 3 を介して感光体ドラム 1 0 4 の軸方向に走査するように照射させ、走査光は、感光体ドラム 1 0 4 の感光層表面にて反射させる。感光体ドラム 1 0 4 は駆動モータ 1 0 5 により回転駆動される。正常な表面からの反射光は、ほぼ受光器 1 0 6 に進入することで反射光の強度が検出され、その検出出力は所定の演算処理部等に入力される。

【0 0 0 3】

同公報例に示されるこのような処理は、検出値が異常に低下した時に、表面状態の異常として検出するためのものである。

【0 0 0 4】

一方、図 3 6 は、特開平 4 - 1 6 9 8 4 0 号公報例の方法を示す概略斜視図である。同図において、ハロゲン光源等を備えた投光器 1 1 0 から感光体ドラム 1

1 1 へ向けてスリット光 1 1 2 が投射される。感光体ドラム 1 1 1 の表面欠陥によって散乱された散乱光は、レンズ 1 1 3 によって集光され、ラインセンサ 1 1 4 で受光される。ラインセンサ 1 1 4 は、画素列を有し、その受光範囲は、感光体ドラム 1 1 1 表面上の E で示される範囲である。

【0 0 0 5】

同公報例に示されるこのような処理は、欠陥による散乱光の異常を検出するためのものである。

【0 0 0 6】

感光体にはピンホール、打痕、擦り傷、気泡の巻き込み、クラック、ゴミ等の付着による欠陥並びに感光層の膜厚のムラ、液ダレや支持体の傷等多種多様な欠陥の生ずる可能性がある。

【0 0 0 7】

上述したような従来の光学式検査装置による場合では、ピンホール、打痕、擦り傷、ゴミ等の付着による欠陥の如く表面凹凸の変化率の大きな欠陥に対しては高い検出力を発揮することができるが、感光層の膜厚ムラ等の如く凹凸の変化率の小さい欠陥或いは支持体の傷のように感光体表面に凹凸の変化のない欠陥に対しては検出精度に問題がある。

【0 0 0 8】

一方、3次元測定法の一手法としてモアレ法（モアレトポグラフィーを利用した3次元測定法）が挙げられる。モアレ法には、実体格子型と格子投影型があり、様々な分野において広く利用されている。

【0 0 0 9】

格子投影型のモアレ法とは、図 3 7 に示すように、投影用と観察用とに、各々小さな格子 G_1 、 G_2 を配置し、格子 G_1 をレンズ L_1 により物体に投影し、物体形状に応じて変形した格子線をレンズ L_2 を通じてもう一つの格子 G_2 上に結像させ、縞等高線を基準面から所定距離 h_1 、 h_2 、 h_3 、…のところに生じさせるようにしたものである。

【0 0 1 0】

一方、実体格子型のモアレ法とは、図 3 8 に示すように、基準面に一つの格子

Gを設置し、図37のレンズ L_1 の位置に点光源 S_1 を、レンズ L_2 の位置に観察眼eを置いて、格子Gの光源 S_1 による影を物体上に落し、物体形状に応じて変形した格子Gの影を形成させ、これを格子Gを通して観察眼eにより観察することにより、この格子Gと変形した格子の影とによって生じるモアレ縞を観測する方法をいう。

【0011】

従来、モアレ法による3次元形状測定法は対象物を直観的に把握することはできないが、

- (1) 凹凸の判定がし難い、
- (2) 高感度の3次元測定には不向き（現時点ではモアレ縞等高線の間隔は $10\mu\text{m}$ 程度が限界とされている）、
- (3) モアレ縞のビジビリティーが縞ごとに均一でないためモアレ像を画像処理の対象として扱いにくい、

等の問題が指摘されている。

【0012】

この問題点は、格子投影型のモアレ法の場合、2枚の格子を利用しているために、その一方を移動させることにより、縞走査、つまり、モアレ縞の位相をシフトさせることによって、等高線間隔を等価的に細かく分割するとともに、対象の凹凸判定や測定感度の向上が可能であるが、実体格子型のモアレ法の場合には、格子が1枚のみであるため、格子投影型のモアレ法のような位相シフトを行っても、全ての次数の縞等高線の位相を揃えながら位相を変えることはできない。

【0013】

このような問題点に対して、例えば特開平4-147001号公報（特許第2887517号）によれば、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を組合わせた測定方法が報告されている。即ち、格子面の垂直移動と光源又は観察点の水平移動とを同時に行うことにより、各次数のモアレ縞の位相にほぼ大きな変化を来たすことなく、各次数の縞の位相がほぼ揃った状態で測定対象に対する縞位相のシフトができるようにしている。これにより、複数枚のモアレ縞画像を高速査法（位相シフト法）の原理に基いて処理することができ、これによって測定対象に対

するモアレ縞による測定点の密度が増大するとともに、モアレ縞1周期について約 $1/40 \sim 1/100$ 程度の物理的な分割が可能となり、実体格子型のモアレ法のみでは困難とされていた面の凹凸の判定や測定感度の向上を図ることができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、実体格子型のモアレ法に対して特開平4-147001号公報例のように位相シフト法を適用する上で、全縞次数をほぼ正確にシフトさせることを意図しており、格子面の垂直移動と光源又は観察点の水平移動との2方向の移動を同時に行うことにより実現しているため、その移動機構等の装置構成が複雑になる上に、対象物を少なくとも3回以上撮像する必要がある、測定に時間がかかる等の問題がある。

【0015】

そこで、本発明は、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用できるようにすることで、ローラ部品等の円柱状被検物や液晶等の平面状被検物の表面形状の3次元測定を、高速かつ高精度に行うことができる表面形状測定方法及び表面形状測定装置を提供することを目的とする。

【0016】

特に、1つの測定範囲に関しては1回の撮像のみで少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞の画像を取得でき、測定時間を短縮させることができる表面形状測定方法及び表面形状測定装置を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系とを有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに、前記検査光学系による測定範囲を前記特定の縞次数近辺に限定して得られる、少なくとも3つの位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を

3 次元的に測定するようにした。

【 0 0 1 8 】

従って、特定の縞次数のモアレ縞の位相を正確にシフトさせ、測定範囲をその特定の縞次数近辺に限定することにより、全縞次数の正確な位相シフトを考慮する必要がなく、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用して高精度な形状測定が可能となる。

【 0 0 1 9 】

請求項 2 記載の発明は、請求項 1 記載の表面形状測定方法において、前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させて前記各検査領域毎に前記被検物表面の形状を測定するようにした。

【 0 0 2 0 】

従って、検査光学系における倍率を高倍率にすると撮像視野は狭くなり、一度に検査できる範囲が狭くなるが、検査光学系による被検物の検査領域を複数に分割し、検査光学系と被検物との相対位置関係を検査領域の分割方向に順次移動させて各検査領域毎に測定することにより、被検物全面の形状測定が可能となる。

【 0 0 2 1 】

請求項 3 記載の発明は、請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法において、前記光源と前記受光系との間隔を変化させることにより前記特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにした。

【 0 0 2 2 】

従って、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために光源と受光系との間隔を変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【 0 0 2 3 】

請求項 4 記載の発明は、請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法において、前記被検物の位置を前記撮像カメラの光軸方向に変化させることにより前記特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにした。

【 0 0 2 4 】

従って、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために被検物の位置を撮像カメラの光軸方向に変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【 0 0 2 5 】

請求項 5 記載の発明は、請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法において、前記撮像カメラの光軸上における前記格子パターンの位置を変化させることにより前記特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにした。

【 0 0 2 6 】

従って、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために格子パターンの位置を光学系の光軸方向に往復移動させることにより、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【 0 0 2 7 】

請求項 6 記載の発明は、請求項 1 又は 2 記載の表面形状測定方法において、1 つの測定範囲において前記撮像カメラによる 1 回の撮像により少なくとも 3 つの位相シフトさせたモアレ縞の画像を取得するようにした。

【 0 0 2 8 】

従って、1 つの測定範囲において撮像カメラによる 1 回の撮像により取得した位相シフトされた画像データを処理すればよく、測定時間を短縮することができる。

【 0 0 2 9 】

請求項 7 記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びラインセンサカメラを含む受光系と、前記格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に往復移動させる移動機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、前記移動機構により前記格子パターンを往復移動させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに、前記ラインセンサカメラの 1 ラインの走査時間と前記格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも 3 ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を 3 次元的に測定するようにした。

【 0 0 3 0 】

従って、移動機構により格子パターンを光軸方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度に被検物表面の形状を測定することができる。

【 0 0 3 1 】

請求項8記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びラインセンサカメラを含む受光系と、前記段差付き格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させる移動機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、前記移動機構により前記段差付き格子パターンを往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに、前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした。

【 0 0 3 2 】

従って、高さの異なる面を持った段差付き格子パターンを移動機構により段差方向に平行な方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度な形状測定を行うことができる。

【 0 0 3 3 】

請求項9記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びカラーセンサカメラを含む受光系と、前記格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に往復移動させる移動機構と、前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設

された各色毎の色フィルターと、前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを切換えるフィルター切換え機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、前記移動機構により前記格子パターンを往復移動させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに前記フィルター切換え機構により前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する色フィルターを切換え、前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得られる3色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした。

【 0 0 3 4 】

従って、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、カラーセンサカメラの1ライン或いは1フレームの走査時間と格子パターンの往復移動と色フィルターの切換え動作の同期動作によって得られるモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度さらに高精細な形状測定を行うことができる。

【 0 0 3 5 】

請求項10記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びカラーセンサカメラを含む受光系と、前記段差付き格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させる移動機構と、前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルターと、前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを切換えるフィルター切換え機構と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、前記移動機構により前記段差付き格子パターンを往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるとともに前記フィルター切換え機構により前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する色フィルターを切換え、前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期

動作により得られる３色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を３次元的に測定するようにした。

【 0 0 3 6 】

従って、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とカラーセンサカメラの１ライン或いは１フレームの走査時間と段差付き格子パターンの往復移動と各色フィルターの切換え動作との同期動作によって得られるモアレ縞データを用いるため、従来のように位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして、高精細な形状測定を行うことができる。

【 0 0 3 7 】

請求項 1 1 記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも３つの格子面を持つ段差付き格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び３ライン以上のラインセンサを並設させたラインセンサカメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、前記ラインセンサカメラの各ラインセンサ毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介してモアレ像を撮像させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせ、前記ラインセンサカメラの各ラインセンサ間の走査時間の同期動作により得られる少なくとも３ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を３次元的に測定するようにした。

【 0 0 3 8 】

従って、３つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとラインセンサを３ライン以上並設させたラインセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とラインセンサカメラの１ラインの走査時間との同期動作によって得られた時刻の異なる３ライン以上のモアレ縞の画像データを用いるため、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【 0 0 3 9 】

請求項 1 2 記載の発明の表面形状測定方法は、モアレ縞を発生させるための光源及び光軸方向の高さの異なる少なくとも３つの格子面を持つ段差付き格子パタ

ーンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及びエリアセンサカメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、前記エリアセンサカメラ中の少なくとも3ライン分の特定エリアに対して各ライン毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介してモアレ像を撮像させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせ、前記エリアセンサカメラの前記特定エリアの各ライン間の走査時間の同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定するようにした。

【0040】

従って、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとエリアセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とエリアセンサカメラの1フレームの撮像時間との同期動作によって得られた3枚以上のモアレ縞の画像データを用いるため、従来のように位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【0041】

請求項13記載の発明は、請求項7ないし12の何れか一記載の表面形状測定方法において、前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向と直交する方向に順次移動させるとともに、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させて前記各検査領域毎に前記被検物表面の形状を3次元的に測定することにより前記被検物表面の全面形状を測定するようにした。

【0042】

従って、被検物と検査光学系との相対位置関係を検査領域の分割方向とこの分割方向に直交する方向とに順次移動させるので、被検物全面の3次元的な測定を行うことができる。

【0043】

請求項14記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターン

と、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系とを有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせる位相シフト機構と、測定範囲が前記特定の縞次数近辺に限定された前記撮像カメラと、前記位相シフト機構により位相シフトされて前記撮像カメラにより撮像された少なくとも3つのモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【0044】

従って、特定の縞次数のモアレ縞の位相を位相シフト機構により正確にシフトさせ、測定範囲が特定の縞次数近辺に限定された撮像カメラにより撮像することにより、全縞次数の正確な位相シフトを考慮する必要がなく、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用して高精度な形状測定が可能となる。

【0045】

請求項15記載の発明は、請求項14記載の表面形状測定装置において、前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させる分割方向移動機構を備える。

【0046】

従って、検査光学系における倍率を高倍率にすると撮像視野は狭くなり、一度に検査できる範囲が狭くなるが、検査光学系による被検物の検査領域を複数に分割し、検査光学系と被検物との相対位置関係を分割方向移動機構により検査領域の分割方向に順次移動させて各検査領域毎に測定することにより、被検物全面の形状測定が可能となる。

【0047】

請求項16記載の発明は、請求項14又は15記載の表面形状測定装置において、前記位相シフト機構が、前記光源と前記受光系との間隔を変化させる間隔可変機構である。

【0048】

従って、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために光源と受光系との間隔を間隔可変機構により変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【0049】

請求項17記載の発明は、請求項14又は15記載の表面形状測定装置において、前記位相シフト機構が、前記被検物の位置を前記撮像カメラの光軸方向に変化させる被検物移動機構である。

【0050】

従って、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために被検物の位置を被検物移動機構により撮像カメラの光軸方向に変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【0051】

請求項18記載の発明は、請求項14又は15記載の表面形状測定装置において、前記位相シフト機構が、前記撮像カメラの光軸上における前記格子パターンの位置を変化させる格子パターン変位機構である。

【0052】

従って、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために格子パターンの位置を格子パターン変位機構により光学系の光軸方向に往復移動させることにより、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【0053】

請求項19記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、前記撮像カメラをラインセンサカメラとし、前記格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に往復移動させることにより特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせる移動機構と、前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記格子パターンの往復移動との同期をとる同期手段と、前記ライ

ーン 2 1 とを組合せて使用するようにしたものである。

【 0 1 3 8 】

本実施の形態の測定方法について図 2 7 を参照して説明する。カラーラインセンサカメラ 3 1 の 1 ラインの走査時間内において、時刻 $t = t_1$ では段差付き格子パターン 2 1 を最上位の格子面 2 1 a の格子パターンとし R フィルター 3 2 R を用いてカラーラインセンサ 3 1 R により領域 1 を撮像し、時刻 $t = t_2$ では段差付き格子パターン 2 1 を $\Delta 1 / 4$ だけずれた中央の格子面 2 1 b の格子パターンとし G フィルター 3 2 G を用いてカラーラインセンサ 3 1 G により領域 1 を撮像し、時刻 $t = t_3$ では段差付き格子パターン 2 1 を最上位位置から $\Delta 1 / 2$ だけずれた最下位の格子面 2 1 c の格子パターンとし B フィルター 3 2 B を用いてカラーラインセンサ 3 1 B により領域 1 を撮像する。

【 0 1 3 9 】

以降の各領域 2, 3, 4, ... についても同様に繰返す。

【 0 1 4 0 】

このようなカラーラインセンサカメラ 3 1 使用時の段差付き格子パターン 2 1 と RGB 各色フィルター 3 2 R, 3 2 G, 3 2 B の時系列な動きとカラーエリアセンサカメラ 3 1 の撮像タイミングとの関係を図 2 8 に模式的に示す。このようなタイミング制御による同期動作は、例えば、演算処理手段として機能するパソコン等を同期手段としても利用し、図 2 8 に示すようなタイミング制御を行うようにすればよい。

【 0 1 4 1 】

このようにすることにより、図 2 2 に示した場合と同じように領域 1 のモアレ縞の画像データを示す R_1 ラインのデータには格子パターンの初期高さでのデータが、 G_1 ラインには格子パターンの高さ： $\Delta 1 / 4$ でのデータが、さらに B_1 ラインには格子パターンの高さ： $\Delta 1 / 2$ でのデータが各々格納されていることになる。これらの位相シフトされた 3 つのモアレ縞の画像データと (4) 式とを用いて演算処理手段により演算処理を行うことにより、表面形状の測定を行う。

【 0 1 4 2 】

本実施の形態の場合、段差付き格子パターン 2 1 を往復移動させる格子パター

ン移動機構としては、図19や図29に示すように光軸方向に直交する方向にガイド機構22を持った1軸の格子移動用自動ステージ23を用いればよい。具体的には、回転モータやリニアモータ、圧電素子等を使った自動ステージが考えられる。また、RGB各色フィルター32R、32G、32Bを切換えるフィルター切換え機構としては、図23に示した場合と同様に、ロータリ式のRGBフィルター32とし、回転モータ35の回転により切換えるようにすればよい（図29参照）。図29に示すような装置構成で、図28に示したようなタイミングに合わせて回転速度を決定すればよい。

【0143】

本実施の形態によれば、同一の領域について3つのモアレ縞の画像データを同時（同一フレーム内）に取得しているので、前述の第六の実施の形態の場合よりも、測定範囲を細かく分割して測定することができる。

【0144】

本発明の第十の実施の形態を図30に基づいて説明する。本実施の形態は基本的には前述の第九の実施の形態の場合と同様であるが、撮像カメラとして前述のカラーラインセンサカメラ31に代えて、前述の図25、図26に示すようなカラーエリアセンサカメラ（カラーセンサカメラ）36を用いるようにしたものである。

【0145】

本実施の形態のようなカラーエリアセンサカメラ36使用時の格子パターン3とRGB各色フィルター32R、32G、32Bの時系列な動きとカラーエリアセンサカメラ36の撮像タイミングとの関係を図30に模式的に示す。このようなタイミング制御による同期動作は、例えば、演算処理手段として機能するパソコン等を同期手段としても利用し、図30に示すようなタイミング制御を行うようにすればよい。

【0146】

この場合、図25に示した場合と同じく、カラーエリアセンサカメラ36においてはそのw画素幅全域を使用するわけではなく、前述の如く、位相シフト誤差を無視できる程度に限定された測定範囲に対応した、特定の画素列（v画素）分の

データのみを用いる。

【0147】

このように設定することにより、図26に示した場合と同じく、1フレーム目撮像においては、v画素中のRデータには格子パターン3の初期高さでのモアレ縞の画像データが、Gデータには格子パターン3の高さ： $\Delta 1/4$ でのモアレ縞の画像のデータが、さらにBデータには格子パターン3の高さ： $\Delta 1/2$ でのモアレ縞の画像データが各々格納されていることになる。これらの位相シフトされた3つのモアレ縞の画像データを用いることにより、v画素の範囲内の表面形状の演算・算出が可能となる。そして、円筒状被検物4を回転モータ8により回転させながら、2、3、…フレーム目と測定を繰返すことにより全周の測定を行う。

【0148】

つまり、第七の実施の形態の場合との対比では、撮像カメラが異なるため、格子パターン3の移動のさせ方が異なるものである。

【0149】

本実施の形態によれば、一度に数ライン分（ここでは、3ライン分）の測定を行うことができる。1フレーム1/30秒のNTSC式のカラーエリアセンサカメラではあまり高速化は期待できないが、高速カメラを用いれば測定時間の短縮も可能となる。

【0150】

本発明の第十一の実施の形態を図31ないし図33に基づいて説明する。本実施の形態では、撮像カメラとして、ラインセンサを3列以上、ここではA、B、C列で示す3列のラインセンサカメラ41を前述の $\Delta 1/4$ ずつの段差がある段差付き格子パターン21と組合わせて使用するようにしたものである。

【0151】

本実施の形態の測定方法を図32を参照して説明する。まず、時刻 $t = t_1$ においては、A列のラインセンサで領域3を最上面の格子面21aを通して撮像し、かつ、B列のラインセンサで領域2を $\Delta 1/4$ の格子面21bを通して撮像し、かつ、C列のラインセンサで領域1を $\Delta 1/2$ の格子面21cを通して撮像す

る。

【0152】

次に、時刻 $t = t_2$ においては、円筒状被検物 4 の領域を 1 つずらすことにより、A 列のラインセンサで領域 4 を最上面の格子面 2 1 a を通して撮像し、かつ、B 列のラインセンサで領域 3 を $\Delta 1 / 4$ の格子面 2 1 b を通して撮像し、かつ、C 列のラインセンサで領域 2 を $\Delta 1 / 2$ の格子面 2 1 c を通して撮像する。

【0153】

さらに時刻 t_3 では、円筒状被検物 4 の領域をさらに 1 つずらすことにより、A 列のラインセンサで領域 5 を最上面の格子面 2 1 a を通して撮像し、かつ、B 列のラインセンサで領域 4 を $\Delta 1 / 4$ の格子面 2 1 b を通して撮像し、かつ、C 列のラインセンサで領域 3 を $\Delta 1 / 2$ の格子面 2 1 c を通して撮像する。

【0154】

この結果、画像メモリ上には図 3 3 に示すようなデータが得られる。例えば、時刻 $t = t_1$ の A 列のラインセンサのデータ、時刻 $t = t_2$ の B 列のラインセンサのデータ、時刻 $t = t_3$ の C 列のラインセンサのデータとの 3 つの画像データと (4) 式とに基づく演算処理手段での演算処理により、領域 3 の形状測定を行うことができる。

【0155】

このような測定を同様に繰返すことにより円筒状被検物 4 の全周の測定を行う。

【0156】

なお、本実施の形態の測定方法に関しては、3 ラインセンサカメラ 4 1 に代えて、エリアセンサカメラを用い、そのうちの任意の 3 段のみを撮像に用いることによっても実現できる。この場合、NTSC (30 フレーム/秒) にとらわれない高速カメラを用いた方が、測定時間を短くできる。

【0157】

本発明の第十二の実施の形態を図 3 4 に基づいて説明する。前述した実施の形態は、何れも感光体ドラムのような円筒状被検物 4 を測定対象 (被検物) とする適用例を示したが、本実施の形態は、液晶パネル等の平面状被検物 5 1 を測定対

象（被検物）とする適用例を示すものである。測定方法及び測定装置としては、前述した各実施の形態の何れでも適用可能である。

【0158】

図示例では、平面状被検物51をXY自動ステージ52に搭載してX方向及びY方向に任意に移動させることにより検査光学系1により平面状被検物51の全面を測定可能としている。もっとも、検査光学系1をxy自動ステージに搭載して、全面測定させることも可能である。

【0159】

【発明の効果】

請求項1記載の発明の表面形状測定方法によれば、特定の縞次数のモアレ縞の位相を正確にシフトさせ、測定範囲をその特定の縞次数近辺に限定することにより、全縞次数の正確な位相シフトを考慮する必要がなく、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用して高精度な形状測定が可能となる。

【0160】

請求項2記載の発明によれば、請求項1記載の表面形状測定方法において、検査光学系における倍率を高倍率にすると撮像視野は狭くなり、一度に検査できる範囲が狭くなるが、検査光学系による被検物の検査領域を複数に分割し、検査光学系と被検物との相対位置関係を検査領域の分割方向に順次移動させて各検査領域毎に測定することにより、被検物全面の形状測定が可能となる。

【0161】

請求項3記載の発明によれば、請求項1又は2記載の表面形状測定方法において、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために光源と受光系との間隔を変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【0162】

請求項4記載の発明によれば、請求項1又は2記載の表面形状測定方法において、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために被検物の位置を撮像カメラの光軸方向に変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シ

フト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【0 1 6 3】

請求項5記載の発明によれば、請求項1又は2記載の表面形状測定方法において、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために格子パターンの位置を光学系の光軸方向に往復移動させることにより、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【0 1 6 4】

請求項6記載の発明によれば、請求項1又は2記載の表面形状測定方法において、1つの測定範囲において撮像カメラによる1回の撮像により取得した位相シフトされた画像データを処理すればよく、測定時間を短縮することができる。

【0 1 6 5】

請求項7記載の発明の表面形状測定方法によれば、移動機構により格子パターンを光軸方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度に被検物表面の形状を測定することができる。

【0 1 6 6】

請求項8記載の発明の表面形状測定方法によれば、高さの異なる面を持った段差付き格子パターンを移動機構により段差方向に平行な方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度な形状測定を行うことができる。

【0 1 6 7】

請求項9記載の発明の表面形状測定方法によれば、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、カラーセンサカメラの1ライン或いは1フレームの走査時間と格子パターンの往復移動と色フィルターの切換え動作の同期動作によって得られるモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために

被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度さらに高精細な形状測定を行うことができる。

【0168】

請求項10記載の発明の表面形状測定方法によれば、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とカラーセンサカメラの1ライン或いは1フレームの走査時間と段差付き格子パターンの往復移動と各色フィルターの切換え動作との同期動作によって得られるモアレ縞データを用いるため、従来のように位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして、高精細な形状測定を行うことができる。

【0169】

請求項11記載の発明の表面形状測定方法によれば、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとラインセンサを3ライン以上並設させたラインセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とラインセンサカメラの1ラインの走査時間との同期動作によって得られた時刻の異なる3ライン以上のモアレ縞の画像データを用いるため、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【0170】

請求項12記載の発明の表面形状測定方法によれば、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとエリアセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とエリアセンサカメラの1フレームの撮像時間との同期動作によって得られた3枚以上のモアレ縞の画像データを用いるため、従来のように位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【0171】

請求項13記載の発明によれば、請求項7ないし12の何れか一記載の表面形状測定方法において、被検物と検査光学系との相対位置関係を検査領域の分割方向とこの分割方向に直交する方向とに順次移動させるので、被検物全面の3次元的な測定を行うことができる。

【 0 1 7 2 】

請求項 1 4 記載の発明の表面形状測定装置によれば、特定の縞次数のモアレ縞の位相を位相シフト機構により正確にシフトさせ、測定範囲が特定の縞次数近辺に限定された撮像カメラにより撮像することにより、全縞次数の正確な位相シフトを考慮する必要がなく、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用して高精度な形状測定が可能となる。

【 0 1 7 3 】

請求項 1 5 記載の発明によれば、請求項 1 4 記載の表面形状測定装置において、検査光学系における倍率を高倍率にすると撮像視野は狭くなり、一度に検査できる範囲が狭くなるが、検査光学系による被検物の検査領域を複数に分割し、検査光学系と被検物との相対位置関係を分割方向移動機構により検査領域の分割方向に順次移動させて各検査領域毎に測定することにより、被検物全面の形状測定が可能となる。

【 0 1 7 4 】

請求項 1 6 記載の発明によれば、請求項 1 4 又は 1 5 記載の表面形状測定装置において、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために光源と受光系との間隔を間隔可変機構により変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【 0 1 7 5 】

請求項 1 7 記載の発明によれば、請求項 1 4 又は 1 5 記載の表面形状測定装置において、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために被検物の位置を被検物移動機構により撮像カメラの光軸方向に変化させることにより、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な形状測定ができる。

【 0 1 7 6 】

請求項 1 8 記載の発明によれば、請求項 1 4 又は 1 5 記載の表面形状測定装置において、モアレ縞の位相を所望の位相だけシフトさせるために格子パターンの位置を格子パターン変位機構により光学系の光軸方向に往復移動させることにより、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を何ら支障なく簡単に適用し高精度な

形状測定ができる。

【0177】

請求項19記載の発明の表面形状測定装置によれば、移動機構により格子パターンを光軸方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度に被検物表面の形状を測定することができる。

【0178】

請求項20記載の発明の表面形状測定装置によれば、高さの異なる面を持った段差付き格子パターンを移動機構により段差方向に平行な方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度な形状測定を行うことができる。

【0179】

請求項21記載の発明の表面形状測定装置によれば、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、カラーセンサカメラの1ライン或いは1フレームの走査時間と格子パターンの往復移動と色フィルターの切換え動作の同期動作によって得られるモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度さらに高精細な形状測定を行うことができる。

【0180】

請求項22記載の発明の表面形状測定装置によれば、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とカラーセンサカメラの1ライン或いは1フレームの走査時間と段差付き格子パターンの往復移動と各色フィルターの切換え動作との同期動作によって得られるモアレ縞データを用いるため、従来のように位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして、高精細な形状測定を行うこ

とができる。

【0181】

請求項23記載の発明の表面形状測定装置によれば、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとラインセンサを3ライン以上並設させたラインセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とラインセンサカメラの1ラインの走査時間との同期動作によって得られた時刻の異なる3ライン以上のモアレ縞の画像データを用いるため、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【0182】

請求項24記載の発明の表面形状測定装置によれば、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとエリアセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とエリアセンサカメラの1フレームの撮像時間との同期動作によって得られた3枚以上のモアレ縞の画像データを用いるため、従来のように位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【0183】

請求項25記載の発明によれば、請求項19ないし24の何れか一記載の表面形状測定装置において、被検物と検査光学系との相対位置関係を検査領域の分割方向とこの分割方向に直交する方向とに順次移動させる両方向の移動機構を備えているので、被検物全面の3次元的な測定を行うことができる。

【0184】

請求項26記載の発明によれば、請求項14ないし25の何れか一記載の表面形状測定装置において、感光体ドラム等の表面形状の測定を高精度かつ高精細に行うことができる。

【0185】

請求項27記載の発明によれば、請求項14ないし25の何れか一記載の表面形状測定装置において、液晶パネル等の表面形状の測定を高精度かつ高精細に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第一の実施の形態の前提としてモアレ法による 3 次元計測法の原理を説明するための模式図である。

【図 2】

実体格子型のモアレ法を説明するための模式図である。

【図 3】

位相シフト法を説明するための説明図である。

【図 4】

本実施の形態の測定原理を示す説明図である。

【図 5】

本実施の形態の測定装置の構成例を示す概略斜視図である。

【図 6】

本発明の第二の実施の形態の測定原理を示す説明図である。

【図 7】

本実施の形態の測定原理を示す説明図である。

【図 8】

撮像位置のシフトに伴う補正方法を説明するための説明図である。

【図 9】

本発明の第四の実施の形態の測定原理を示す説明図である。

【図 10】

より具体的な測定原理を示す説明図である。

【図 11】

本実施の形態の格子移動機構の構成例を示す概略斜視図である。

【図 12】

本発明の第五の実施の形態の測定原理を示す原理的側面図である。

【図 13】

同期動作を説明するための模式的なタイミングチャートである。

【図 14】

撮像状態を時系列に展開して示す説明図である。

【図 1 5】

領域に関する説明図である。

【図 1 6】

本発明の第六の実施の形態で用いる段差付き格子パターンの構成を示す側面図である。

【図 1 7】

本実施の形態の測定原理を示す原理的側面図である。

【図 1 8】

同期動作を説明するための模式的なタイミングチャートである。

【図 1 9】

本実施の形態の格子移動機構の構成例を示す概略斜視図である。

【図 2 0】

本発明の第七の実施の形態の測定原理を示す原理的側面図である。

【図 2 1】

同期動作を説明するための模式的なタイミングチャートである。

【図 2 2】

撮像状態を時系列に展開して示す説明図である。

【図 2 3】

移動機構及びフィルター切換え機構を示し、(a)は正面図、(b)は側面図である。

【図 2 4】

本発明の第八の実施の形態の同期動作を説明するための模式的なタイミングチャートである。

【図 2 5】

カラーエリアセンサカメラ中の特定エリアを説明するための概略側面図である。

【図 2 6】

撮像状態を時系列に示す説明図である。

【図 2 7】

本発明の第九の実施の形態の測定原理を示す原理的側面図である。

【図 2 8】

同期動作を説明するための模式的なタイミングチャートである。

【図 2 9】

移動機構及びフィルター切換え機構を示し、(a)は正面図、(b)は側面図である。

【図 3 0】

本発明の第十の実施の形態の同期動作を説明するための模式的なタイミングチャートである。

【図 3 1】

本発明の第十一の実施の形態の 3 ラインセンサカメラのセンサ面構成を示す概略平面図である。

【図 3 2】

本実施の形態の測定原理を示す原理的側面図である。

【図 3 3】

撮像状態及び演算処理例を時系列に示す説明図である。

【図 3 4】

本発明の第十二の実施の形態の測定装置の構成例を示す概略斜視図である。

【図 3 5】

第 1 の従来例を示す概略斜視図である。

【図 3 6】

第 2 の従来例を示す概略斜視図である。

【図 3 7】

格子投影型のモアレ法を説明するための模式図である。

【図 3 8】

実体格子型のモアレ法を説明するための模式図である。

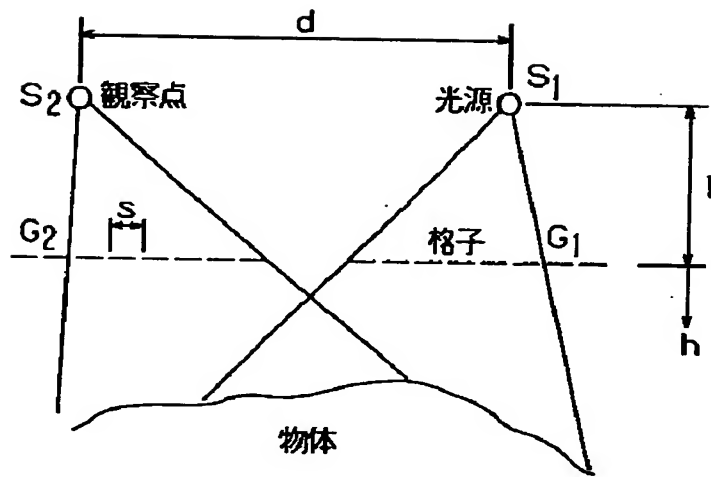
【符号の説明】

- 1 検査光学系
- 2 光源

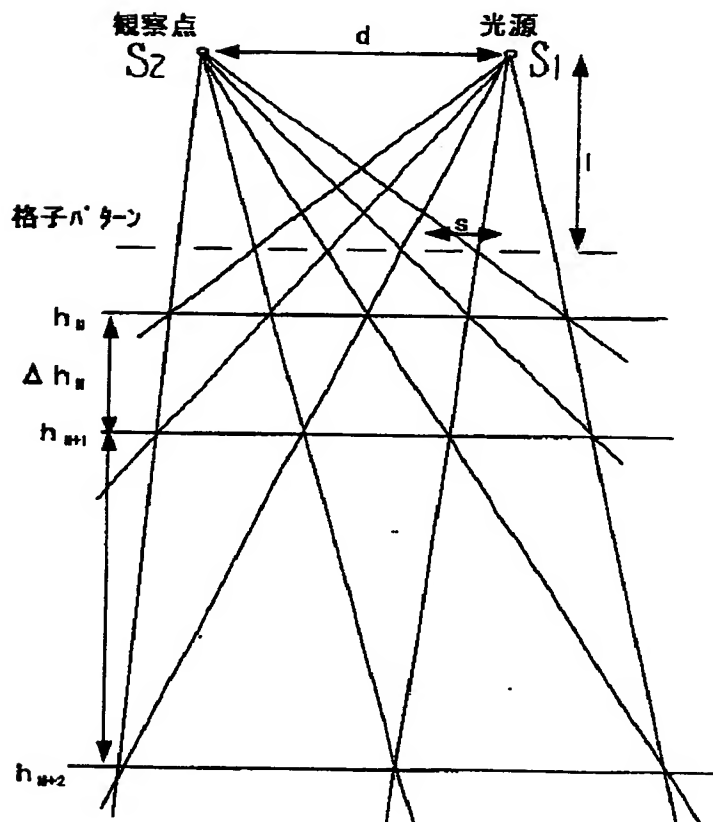
- 3 格子パターン
- 4 円筒状被検物、被検物
- 5 レンズ
- 6 ラインセンサカメラ、撮像カメラ
- 8 領域内移動機構
- 1 0 分割方向移動機構
- 1 2 格子パターン移動機構、位相シフト機構
- 2 1 段差付き格子パターン
- 2 1 a, 2 1 b, 2 1 c 格子面
- 2 3 格子パターン移動機構、位相シフト機構
- 3 1 カラーセンサカメラ、撮像カメラ
- 3 2 R, 3 2 G, 3 2 B 色フィルター
- 3 4 格子パターン移動機構、位相シフト機構
- 3 5 フィルター切換え機構
- 3 6 カラーセンサカメラ、撮像カメラ
- 4 1 ラインセンサカメラ、撮像カメラ
- 5 1 平面状被検物、被検物

【書類名】 図面

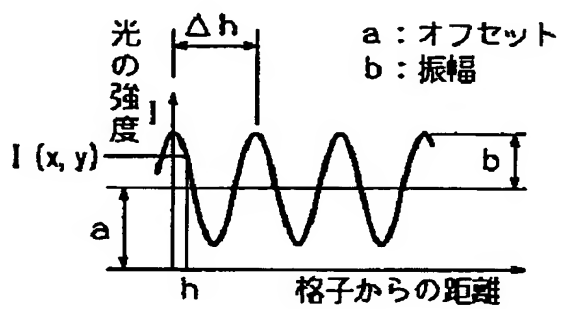
【図 1】



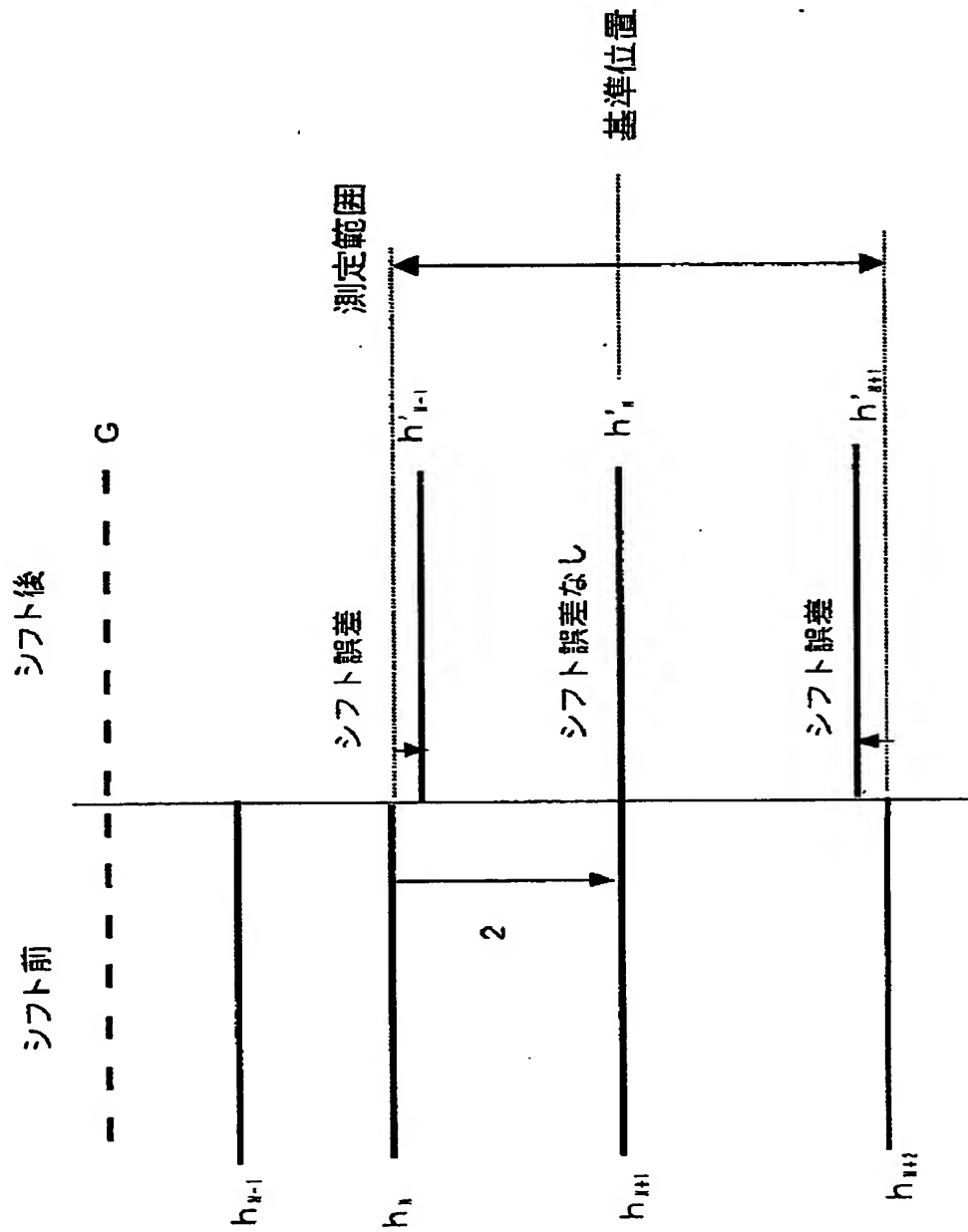
【図 2】



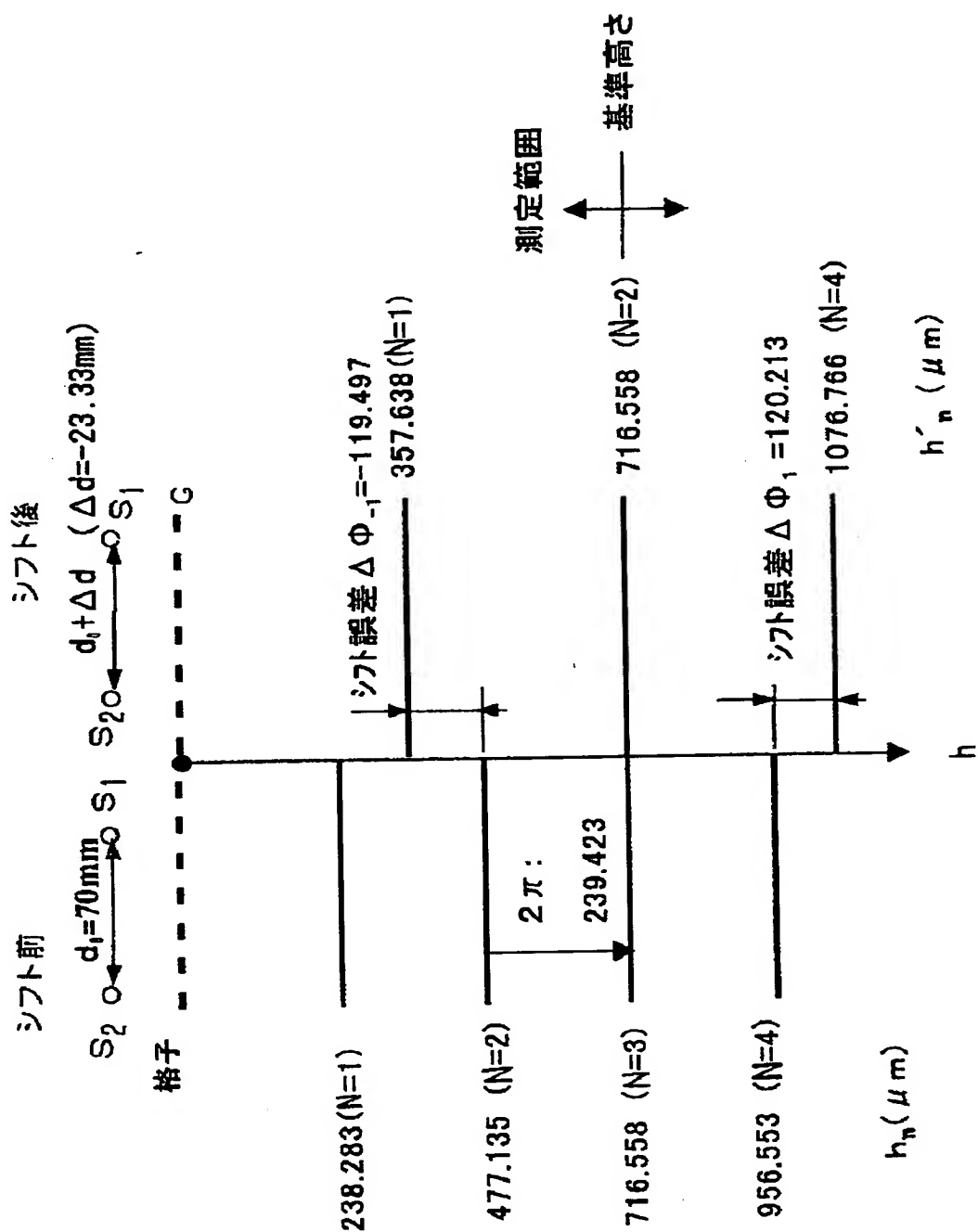
【図3】



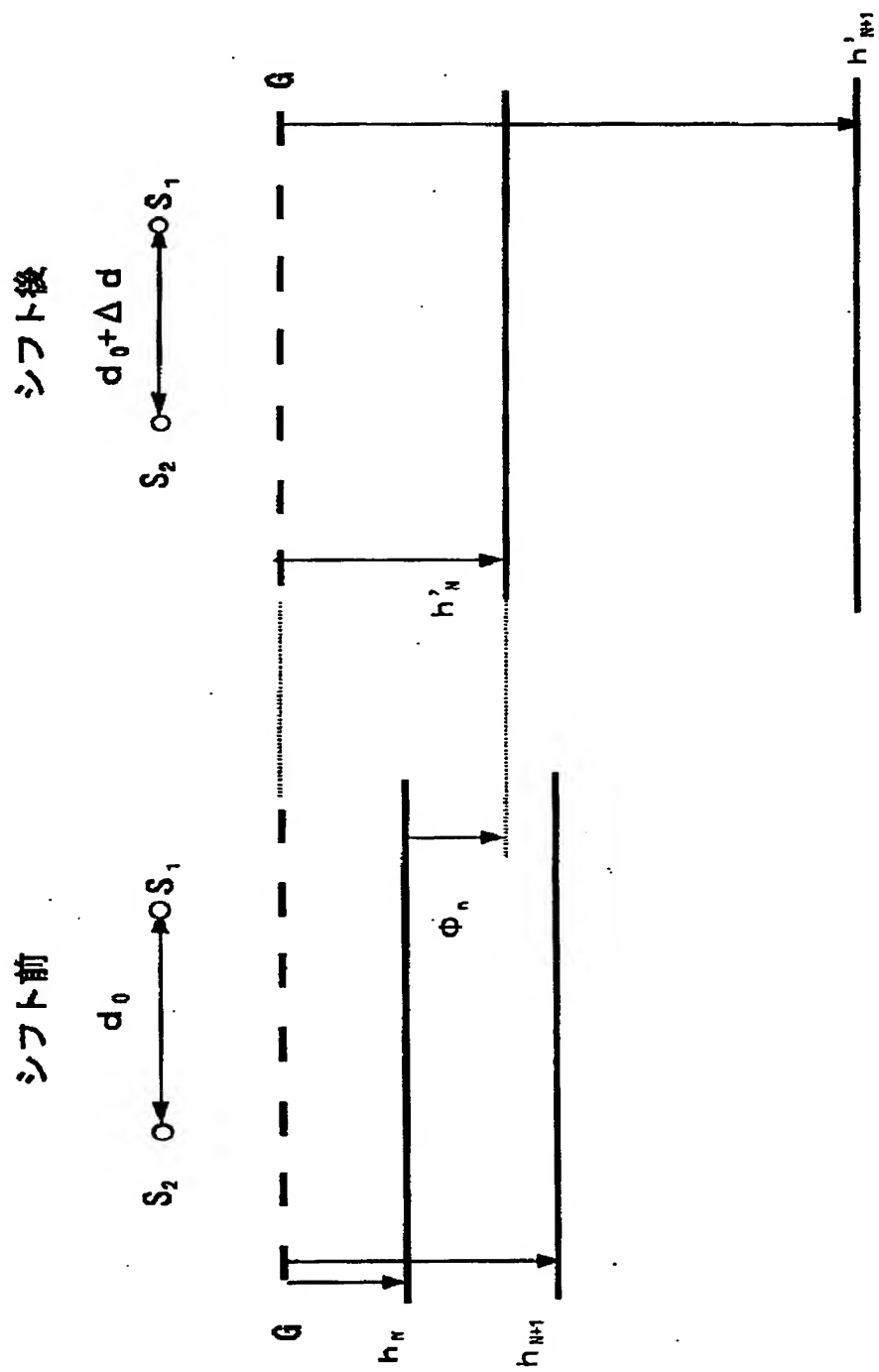
【図4】



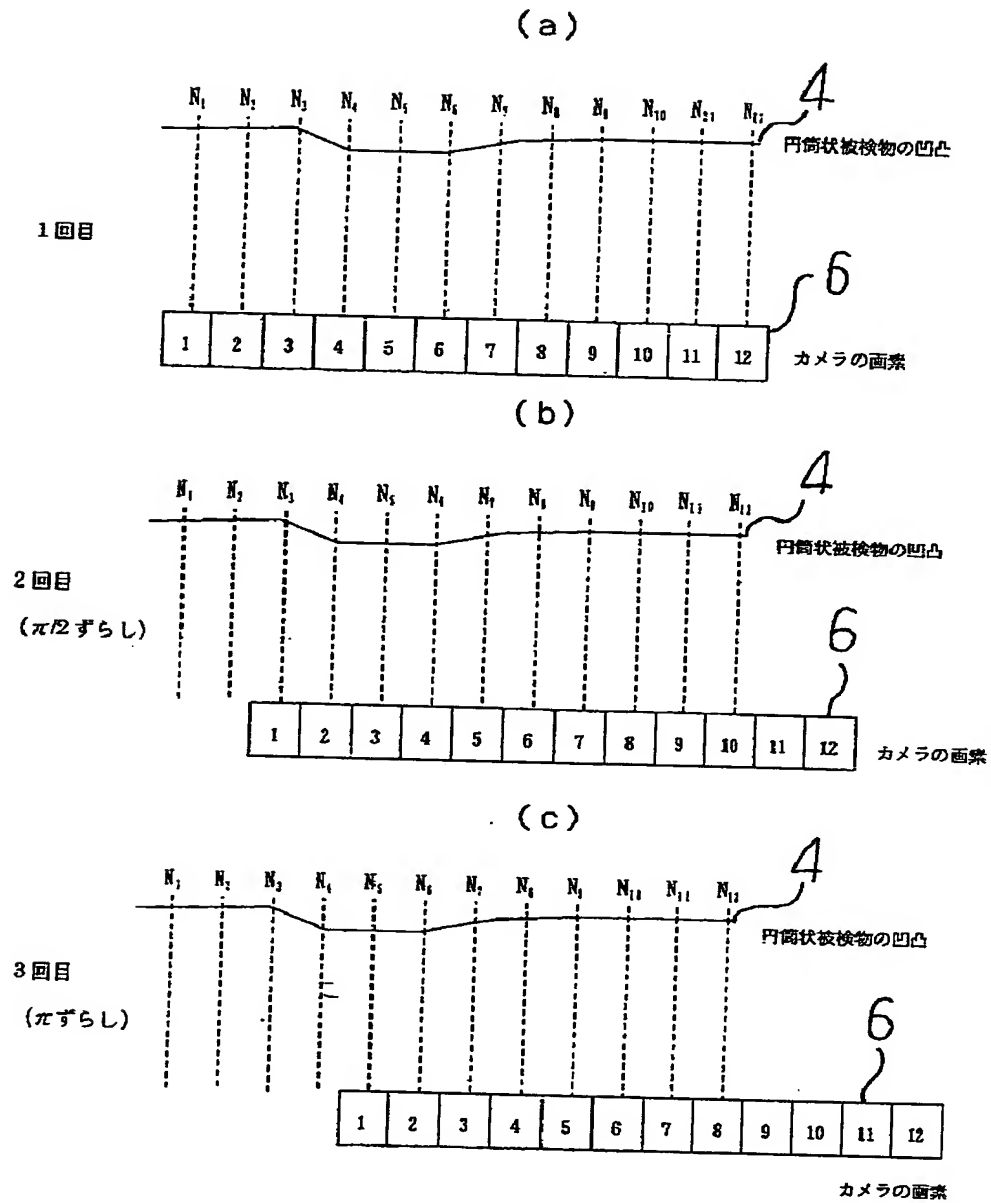
【図 6】



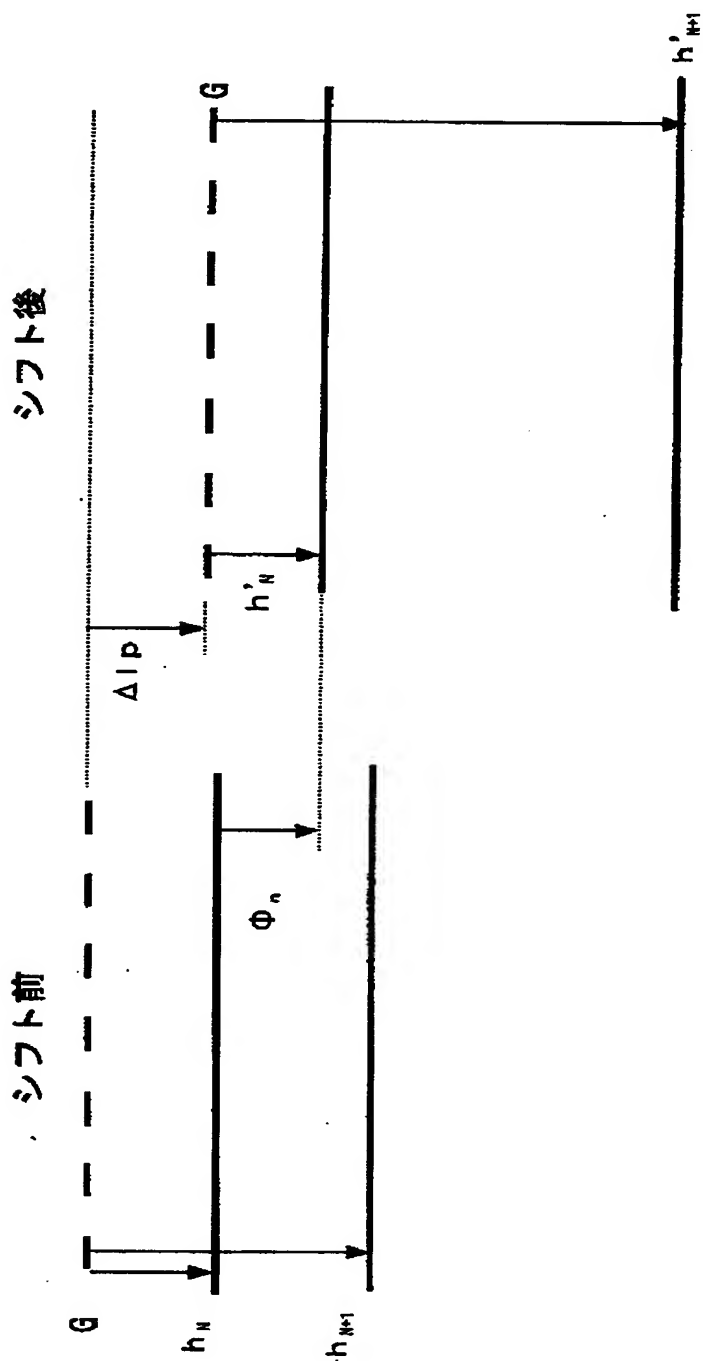
【図7】



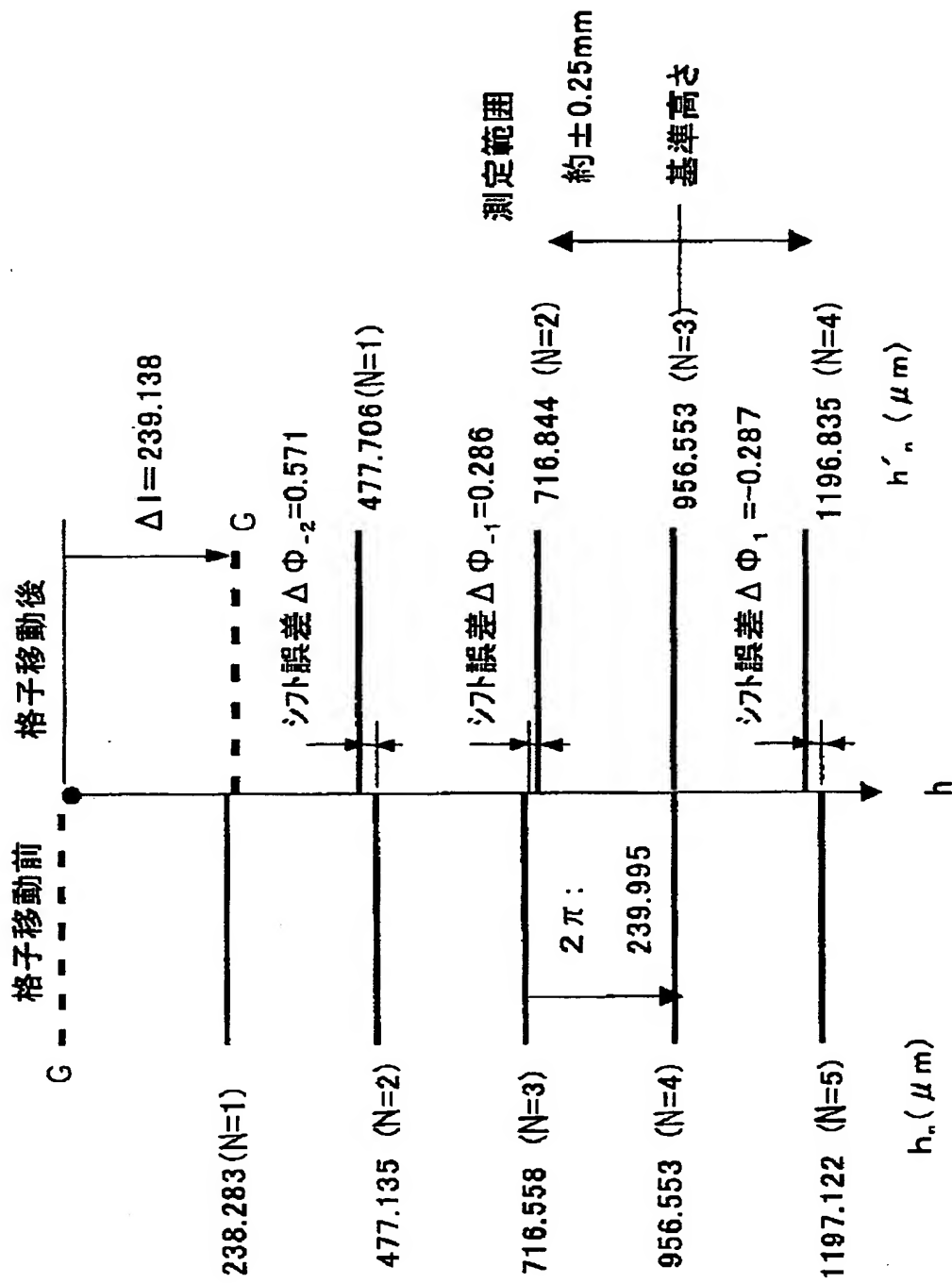
【図 8】



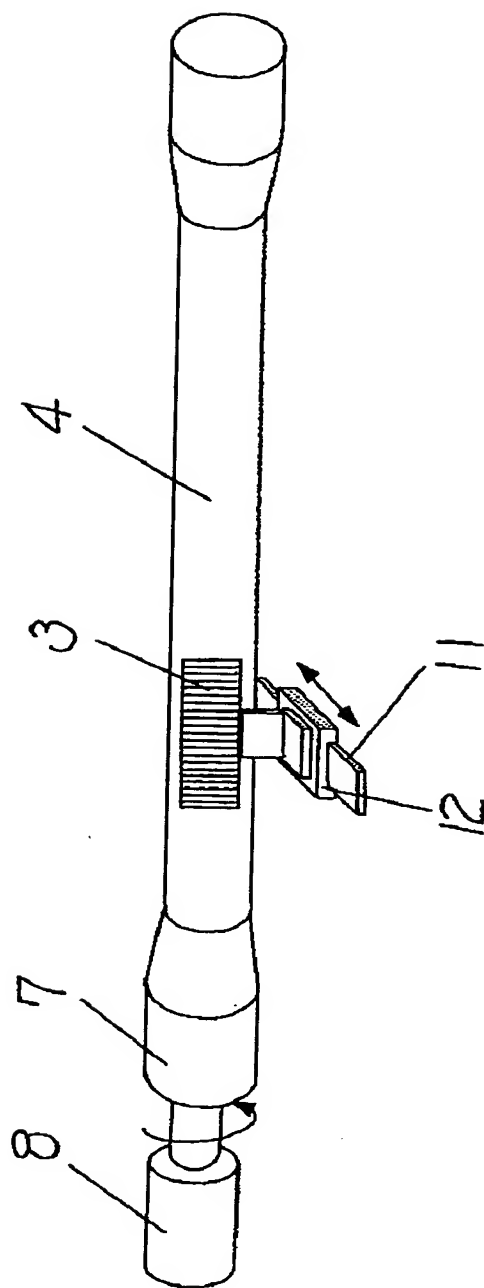
【図9】



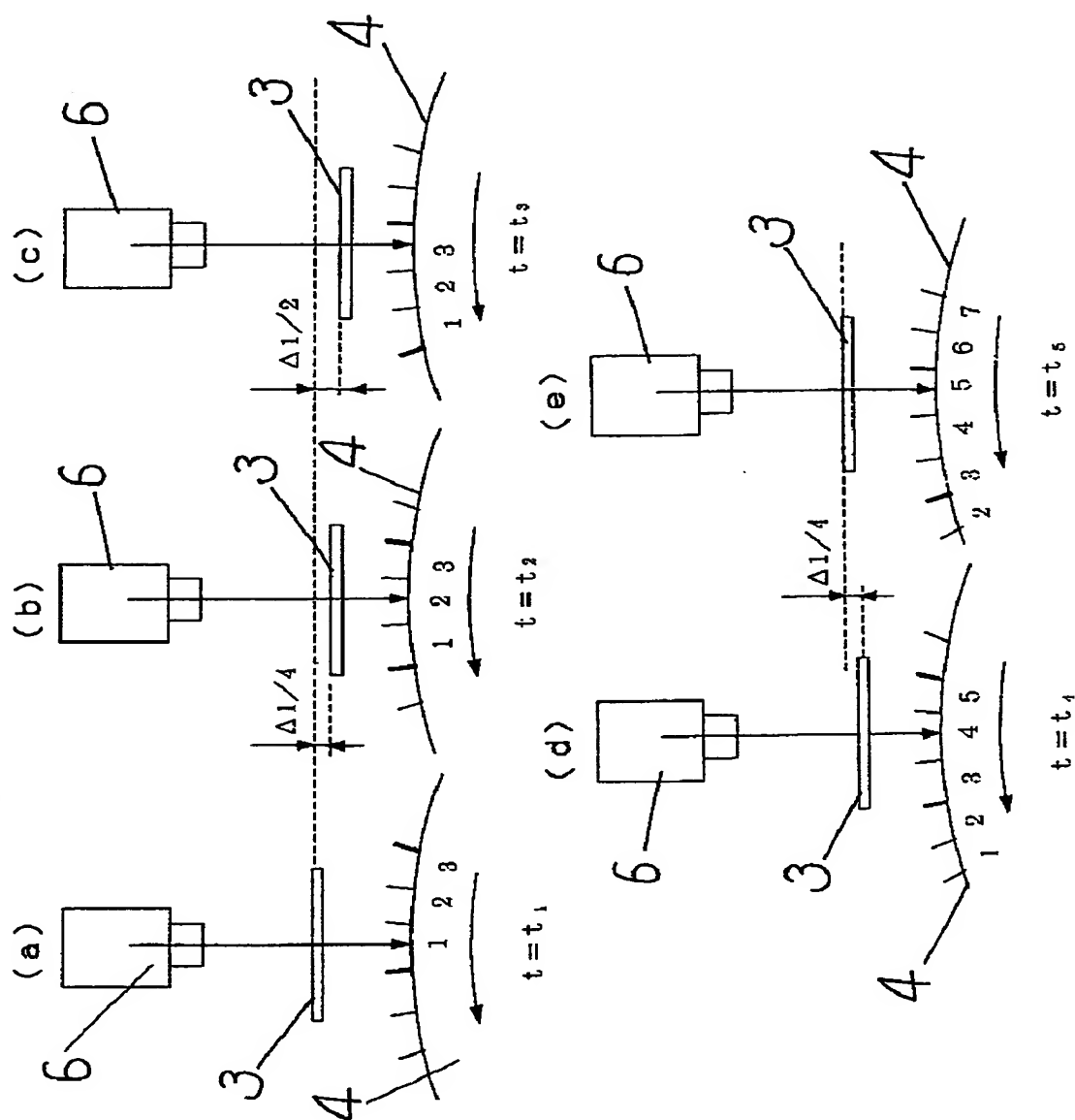
【図 1 0】



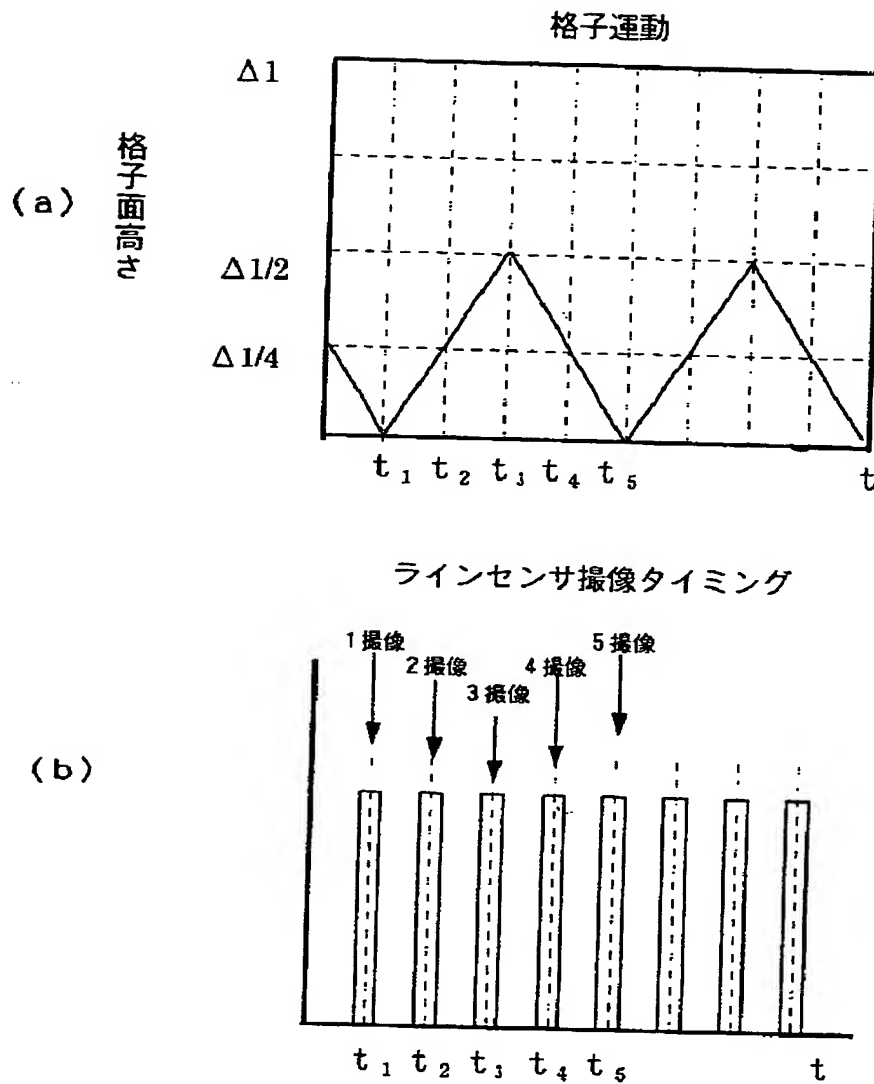
【図 1 1】



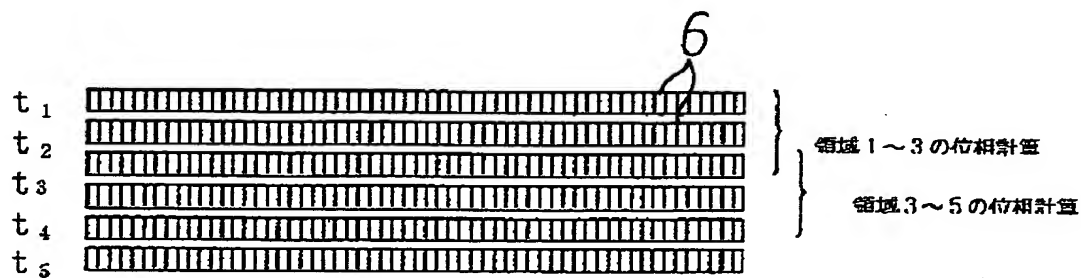
【図 12】



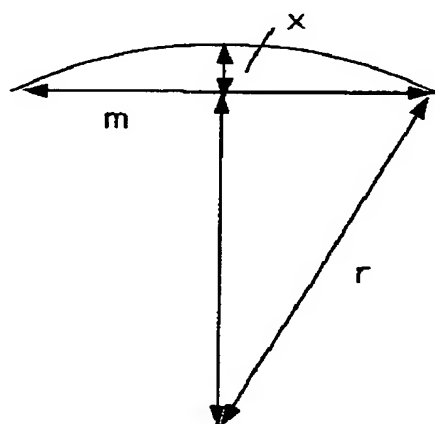
【図 1 3】



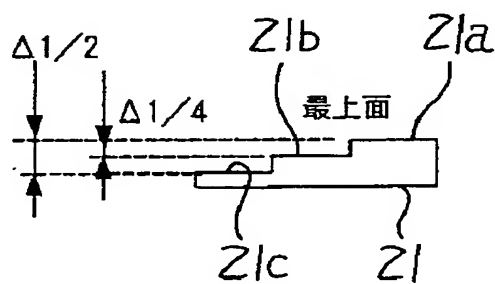
【図 1 4】



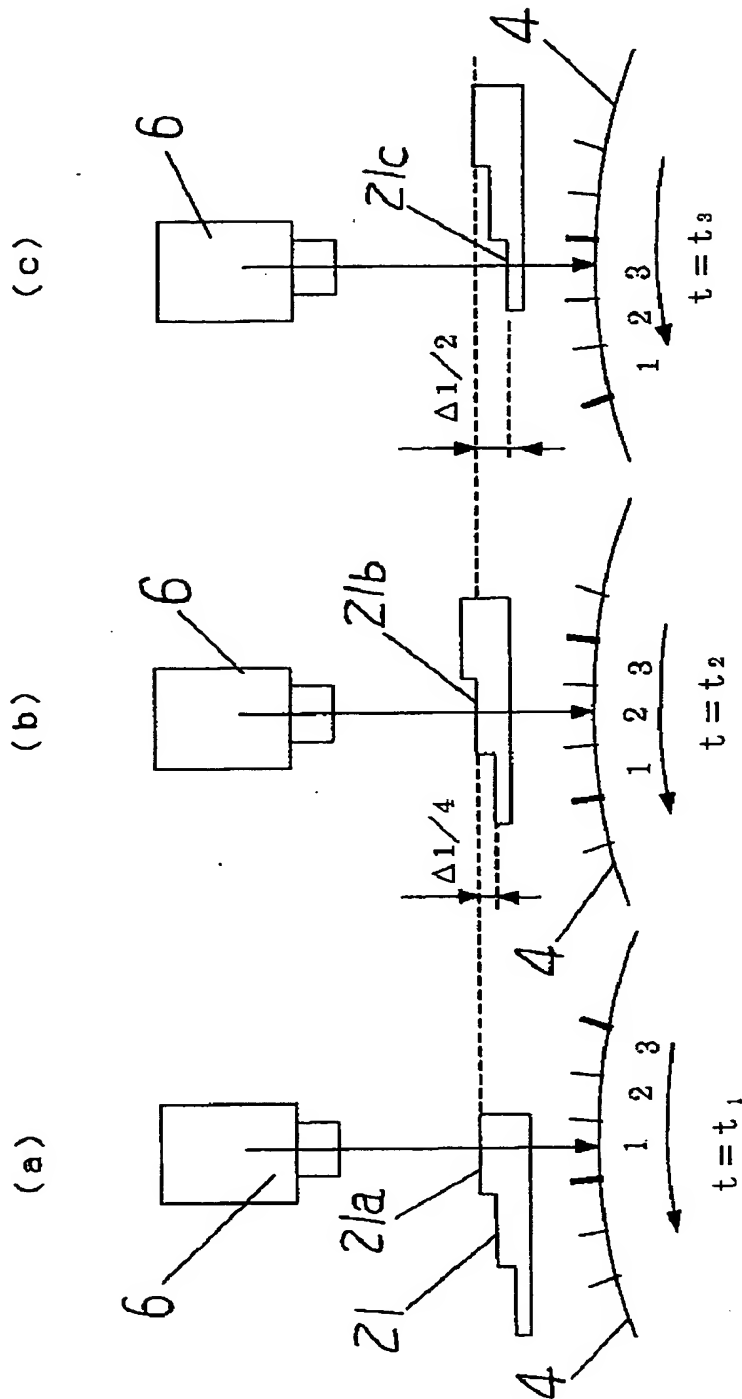
【図 1 5】



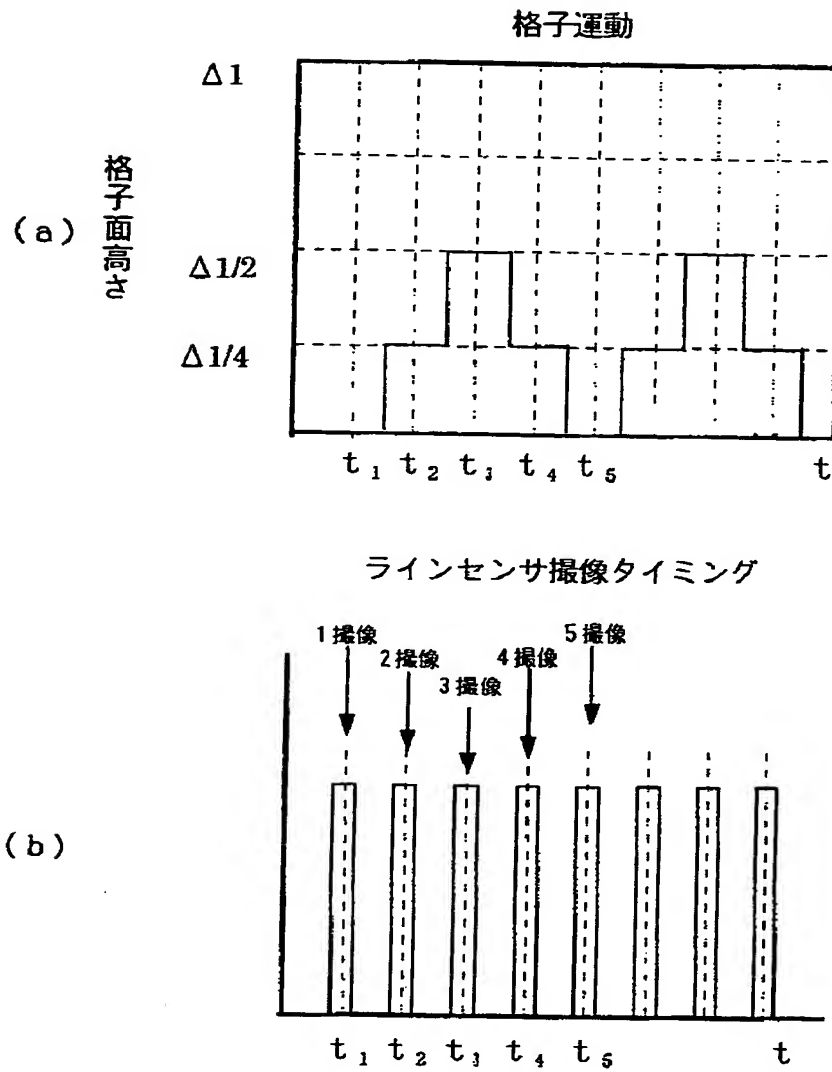
【図 1 6】



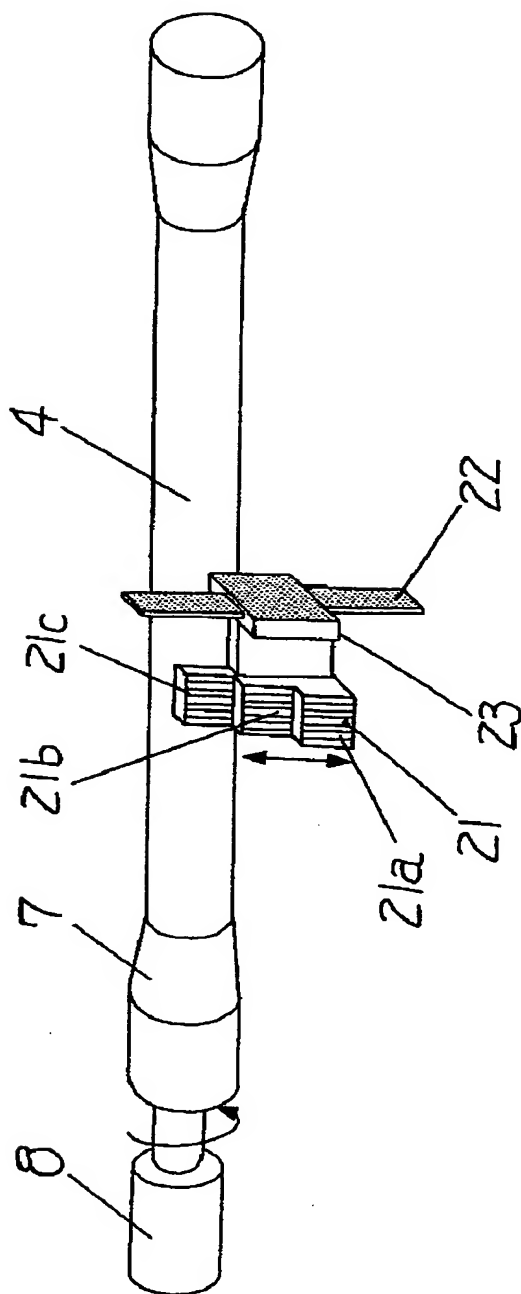
【図 1 7】



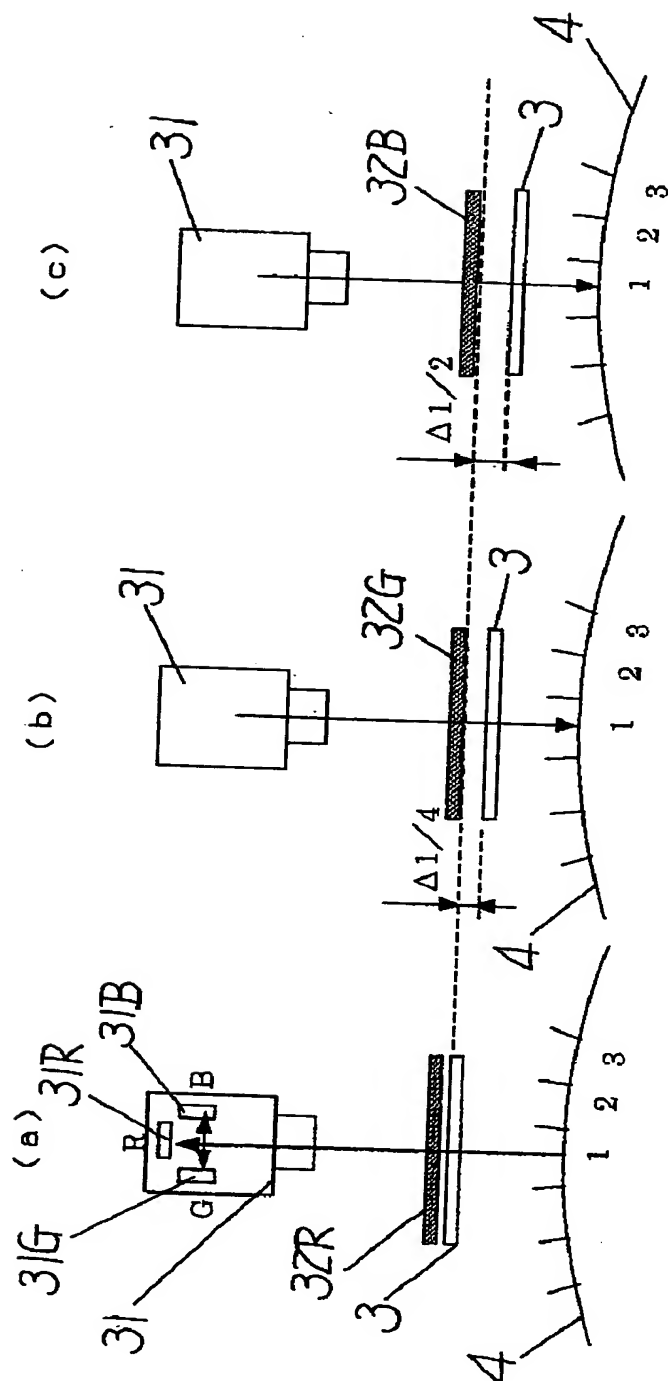
【図 1 8】



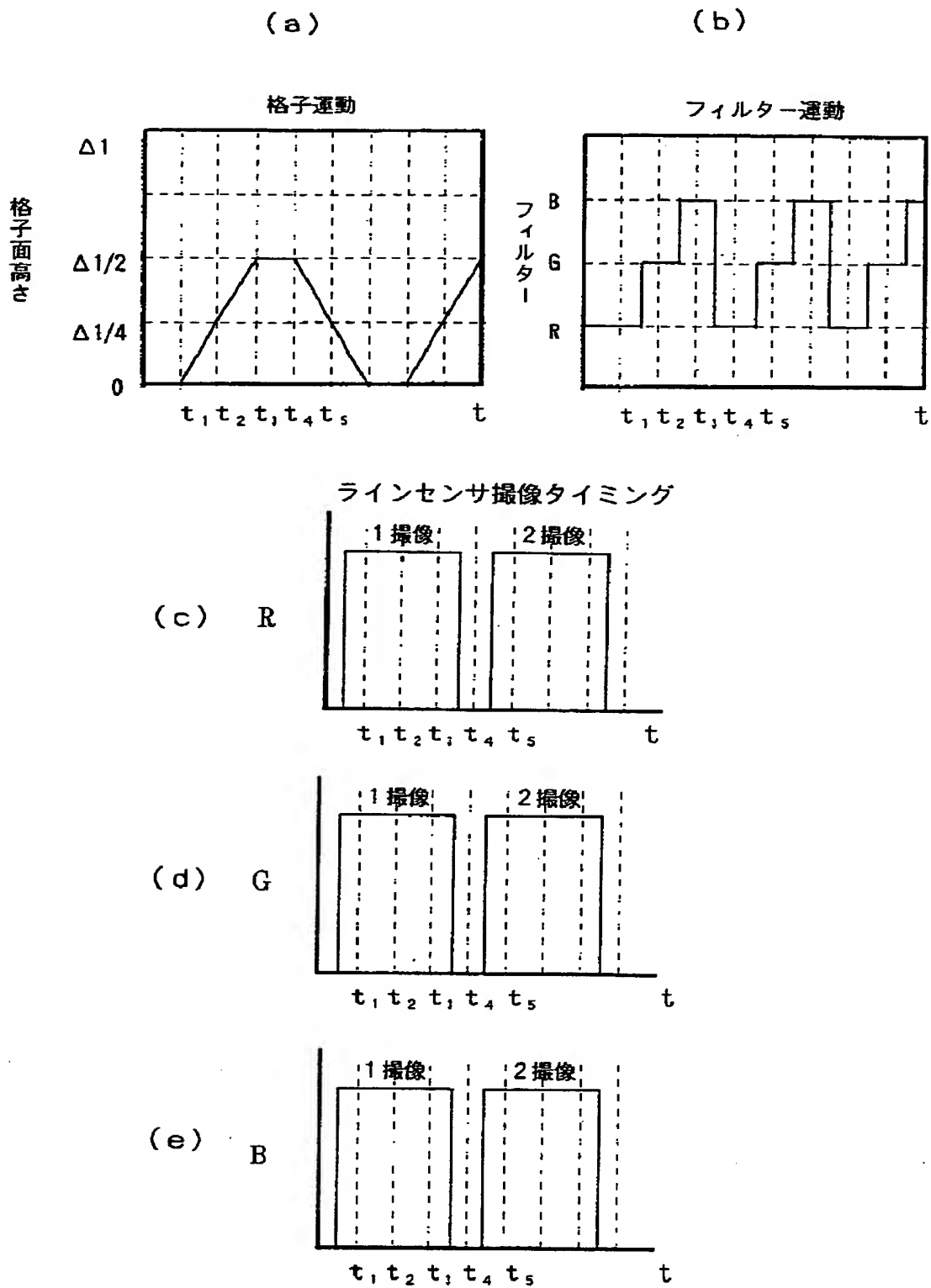
【図19】



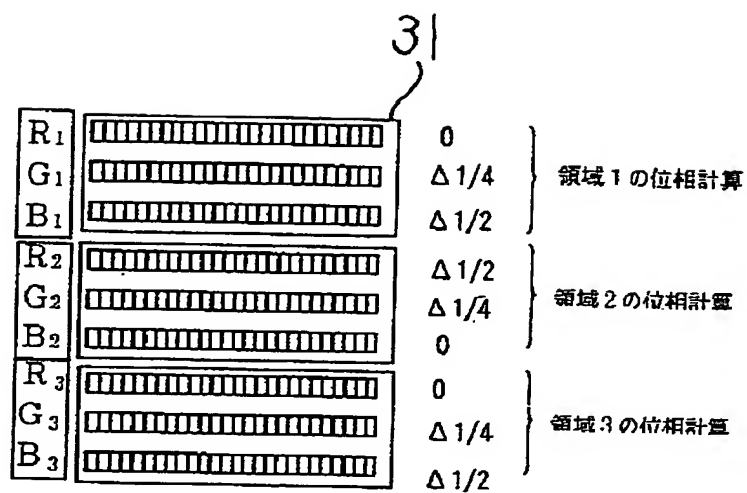
【図20】



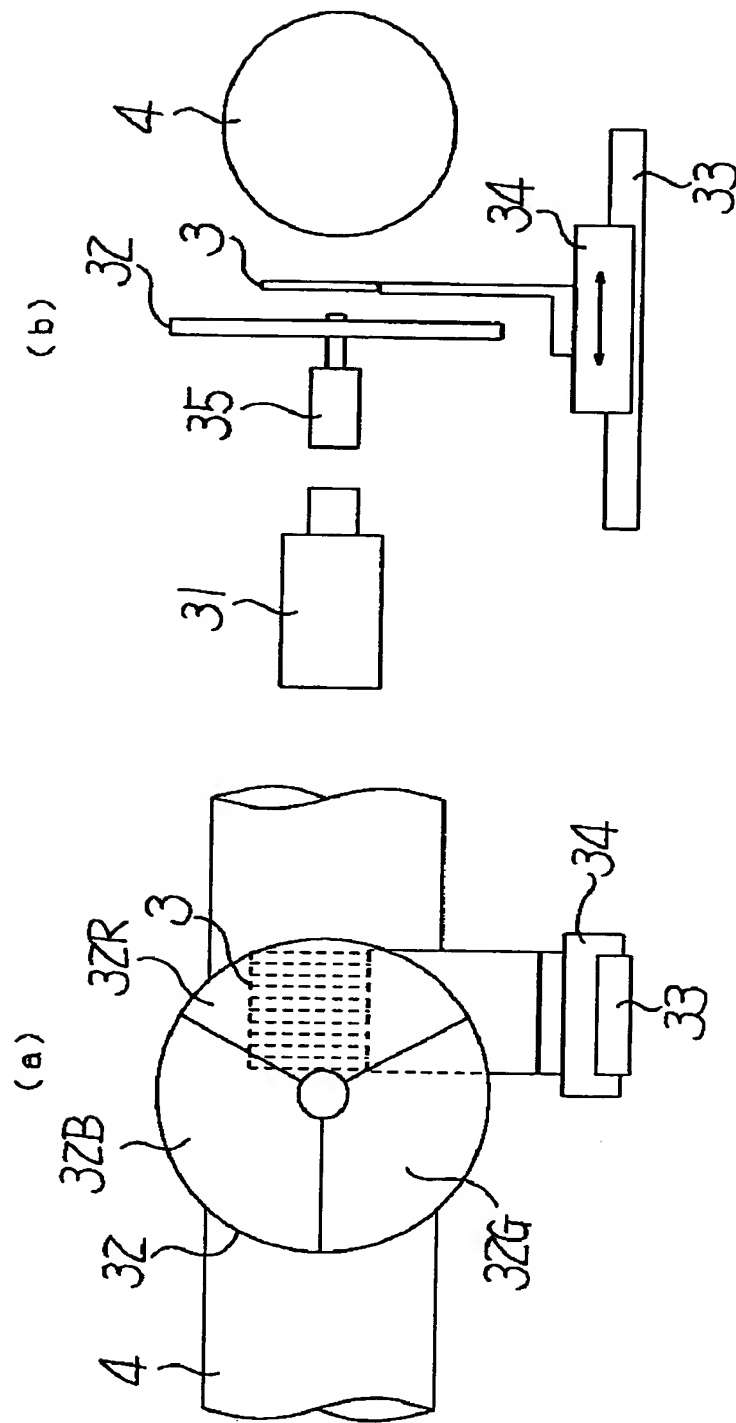
【図 2 1】



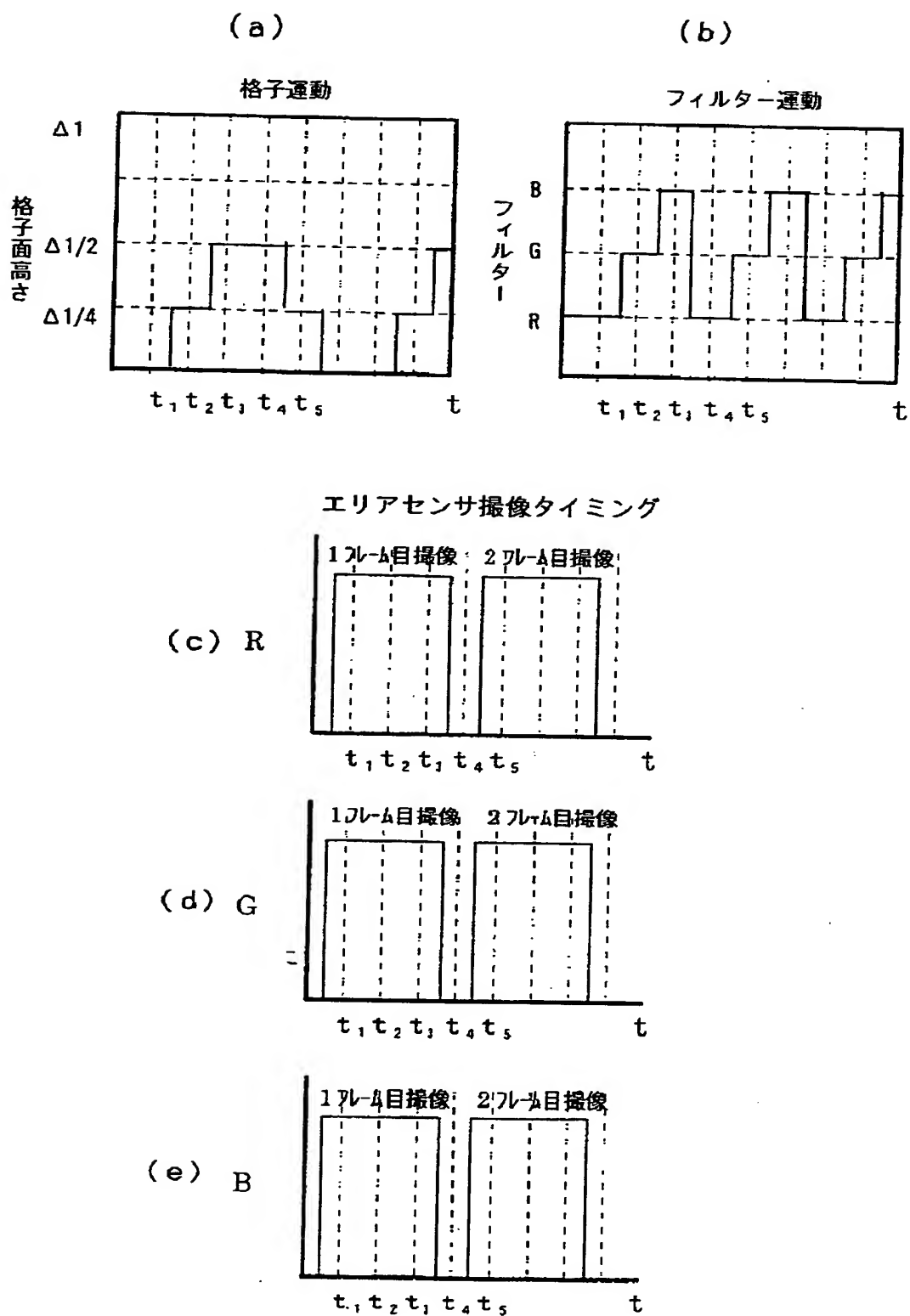
【図 2 2】



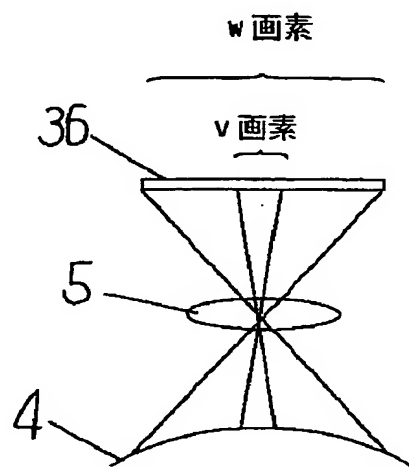
【図 2 3】



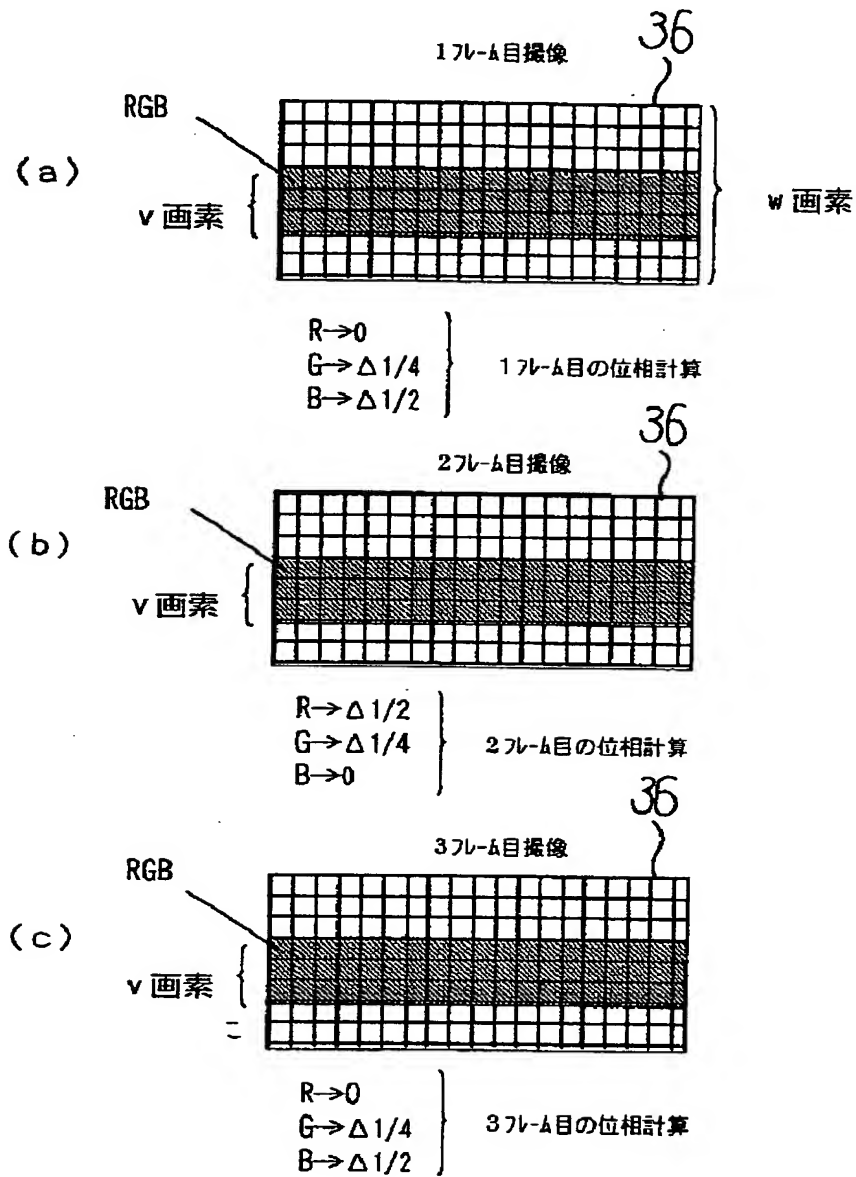
【図 2 4】



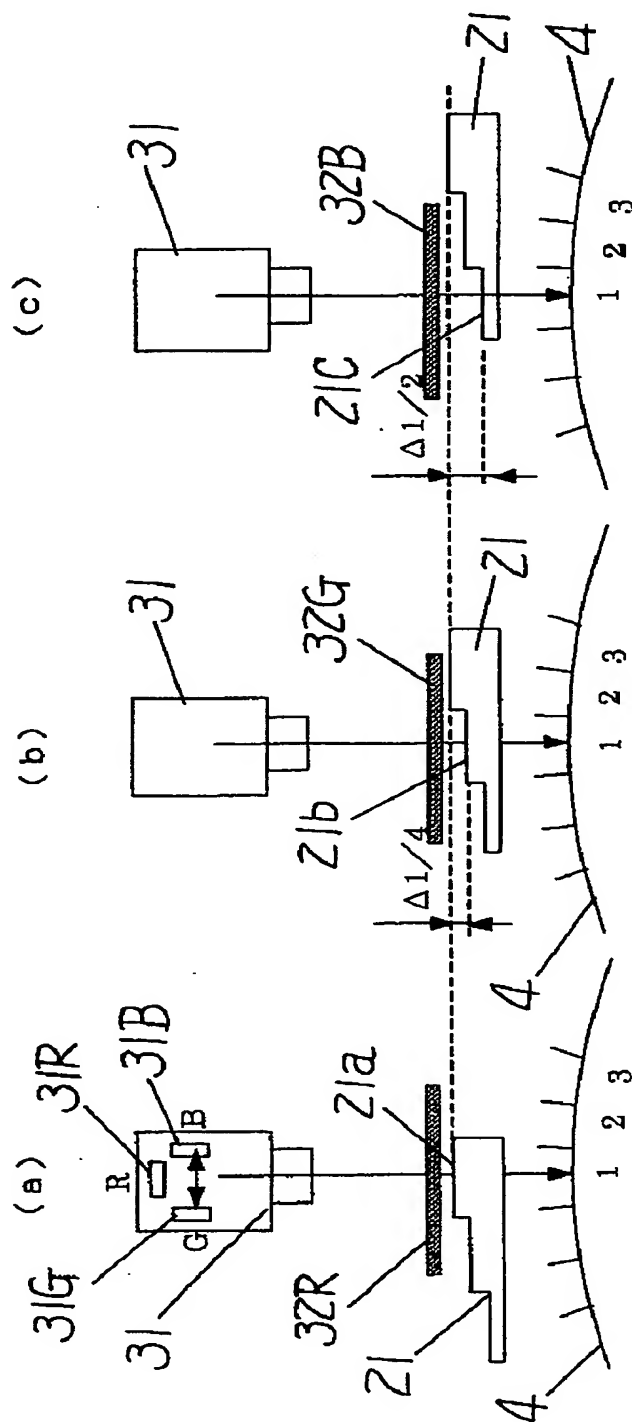
【図 2 5】



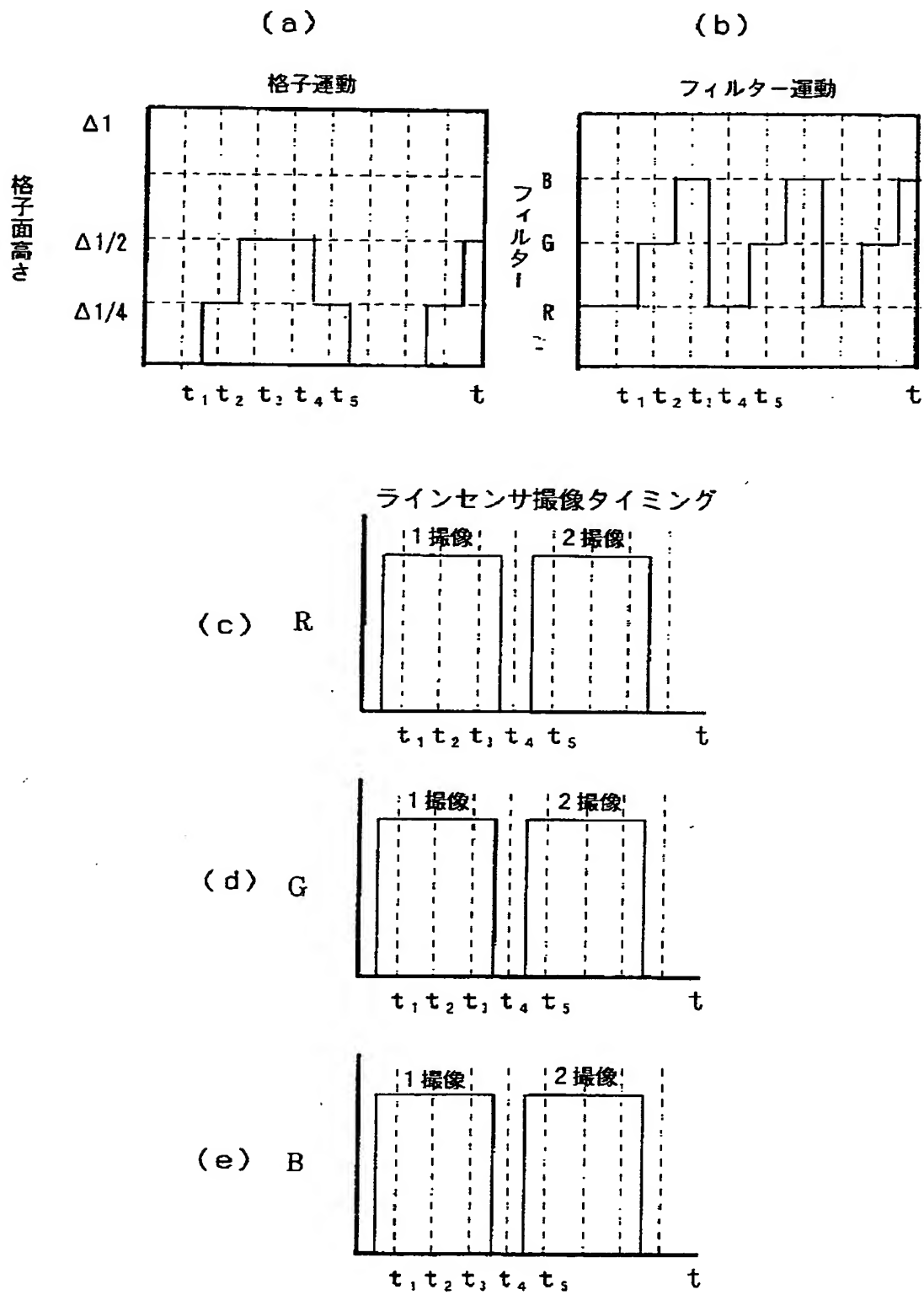
【図 2 6】



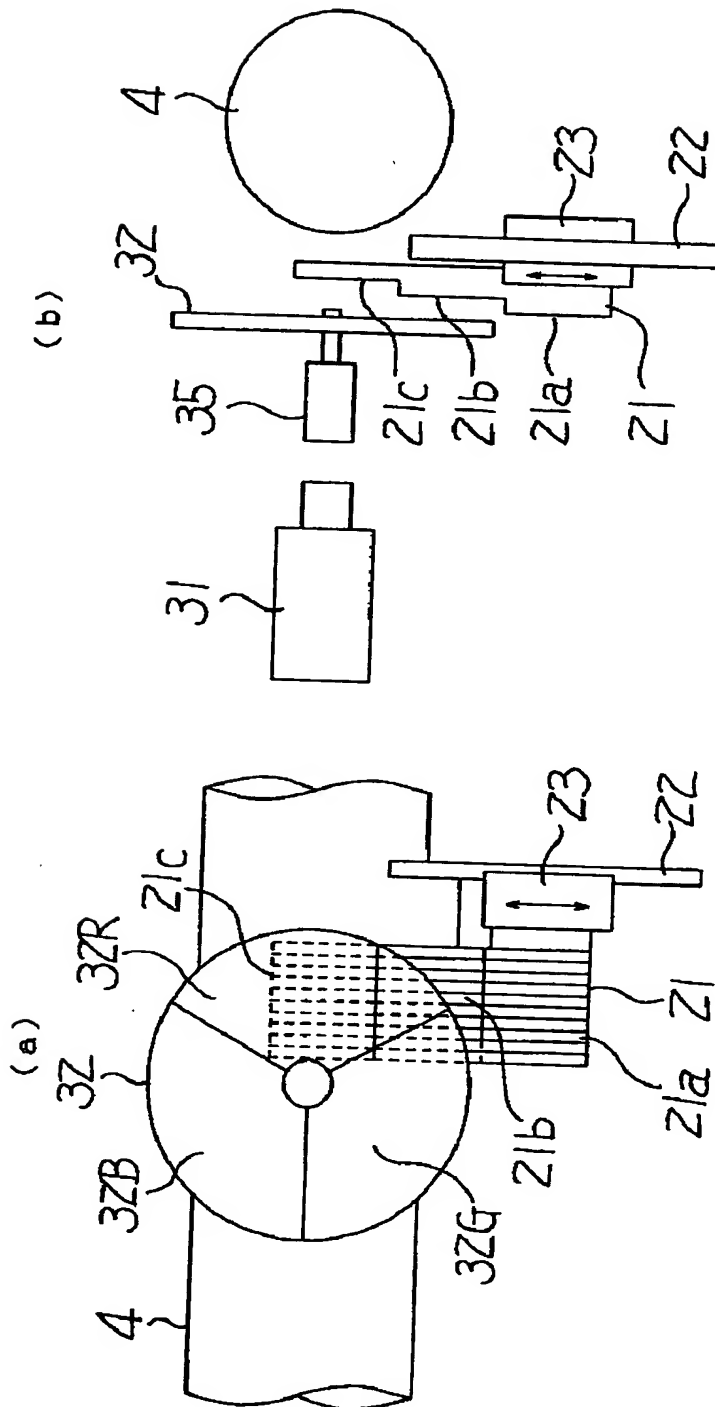
【図 27】



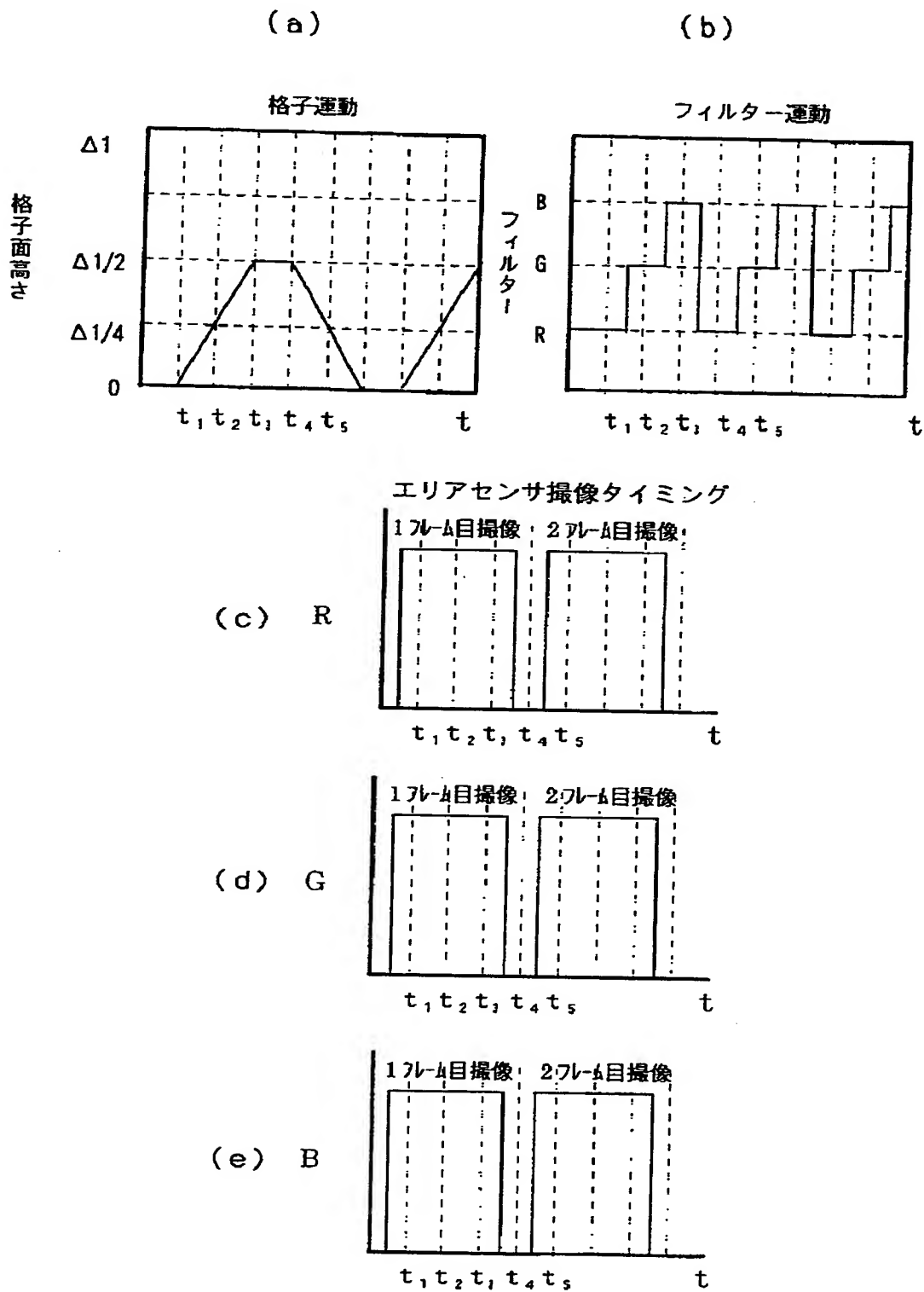
【図 2 8】



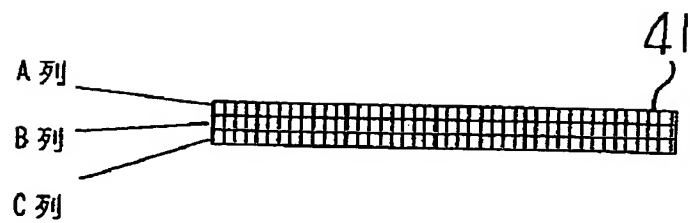
【図 2 9】



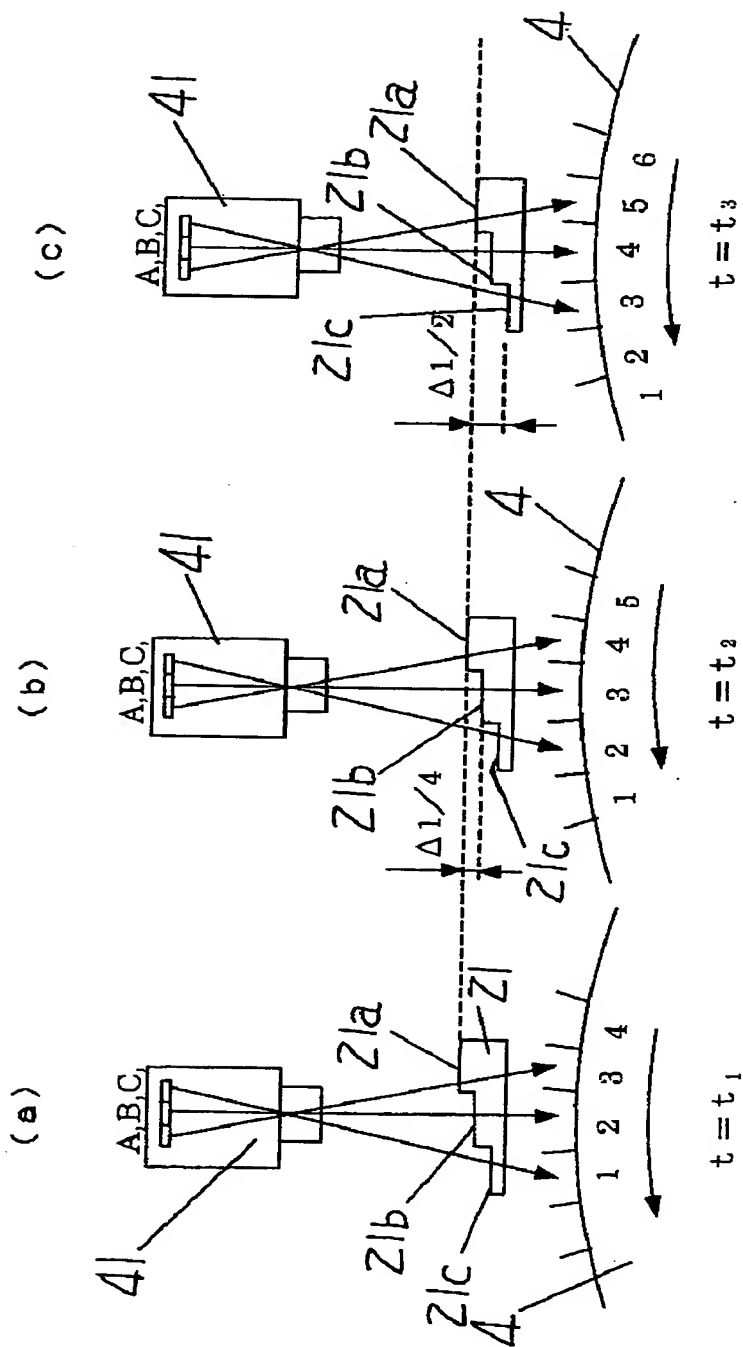
【図 3 0】



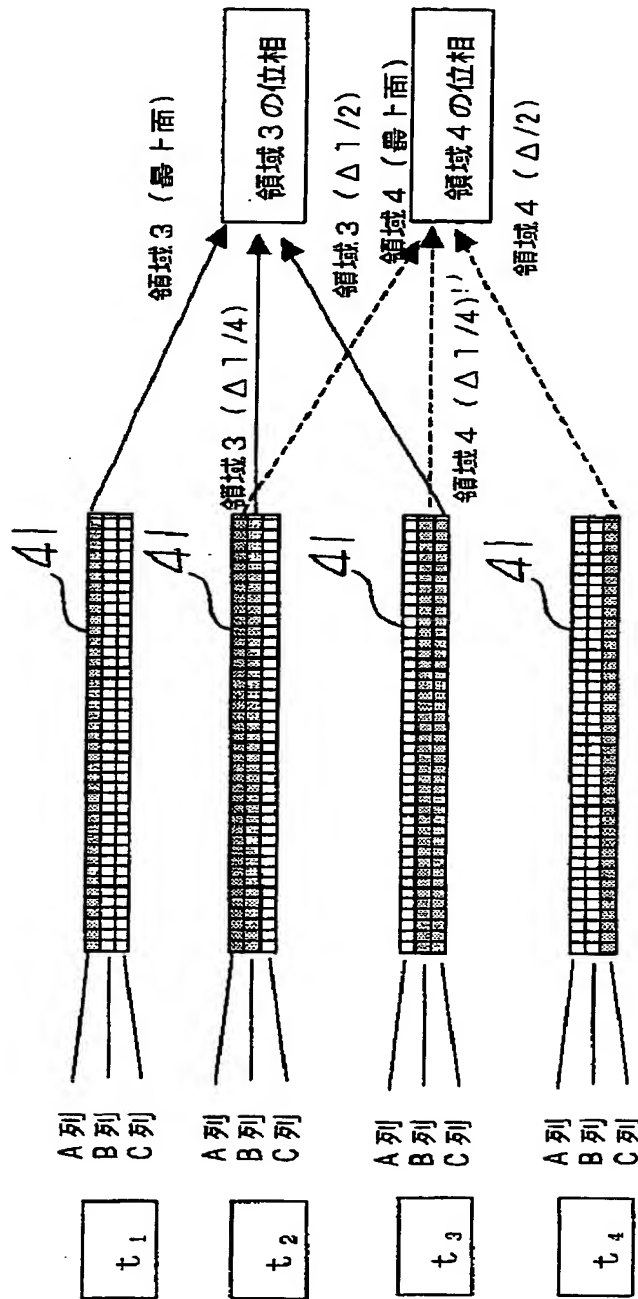
【図 3 1】



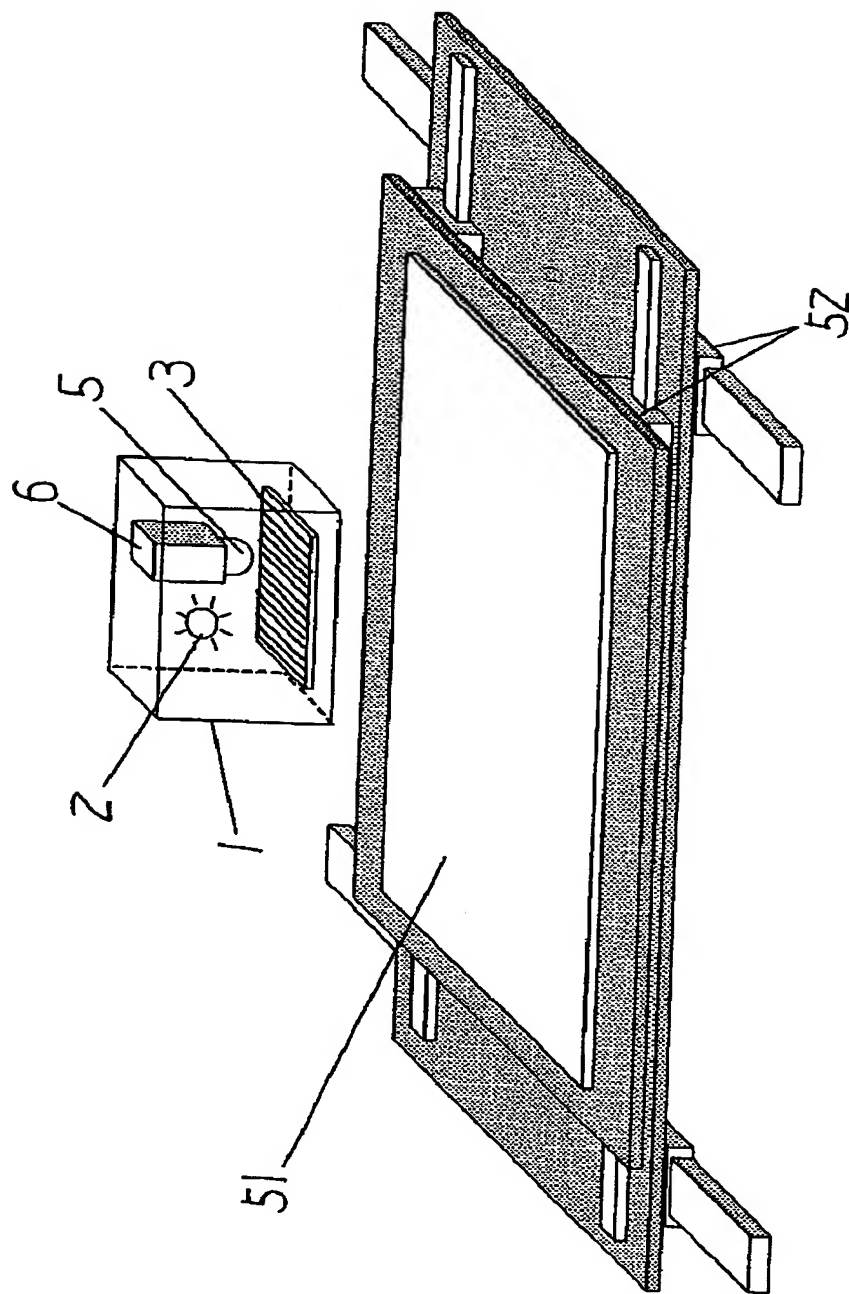
【図 3 2】



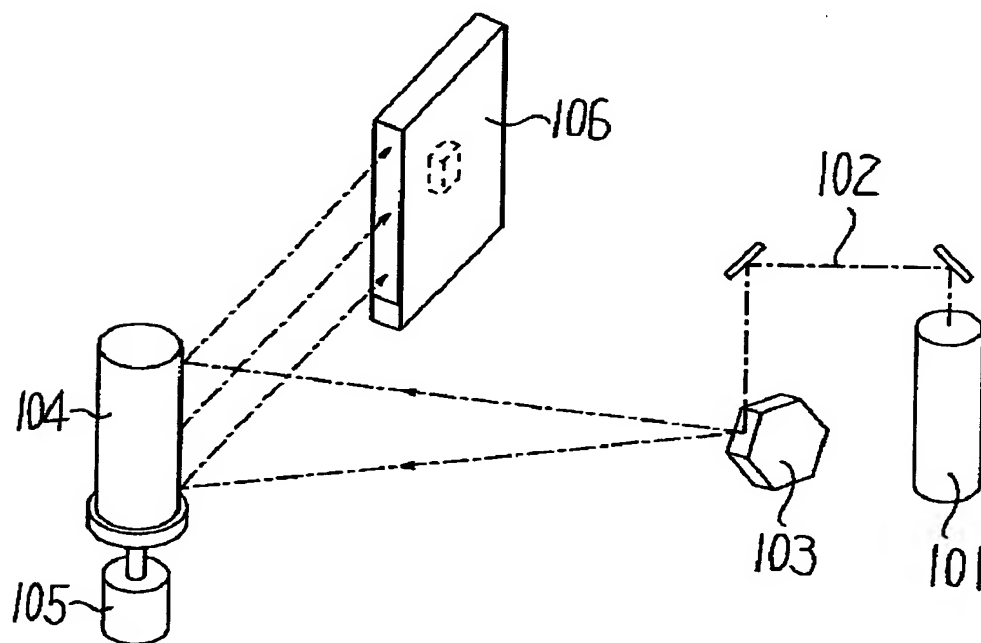
【図 3 3】



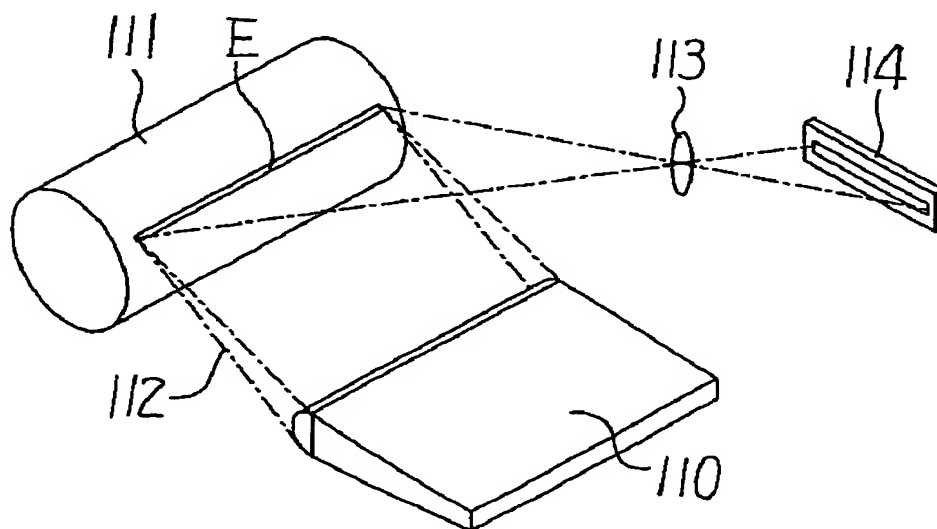
【図 3 4】



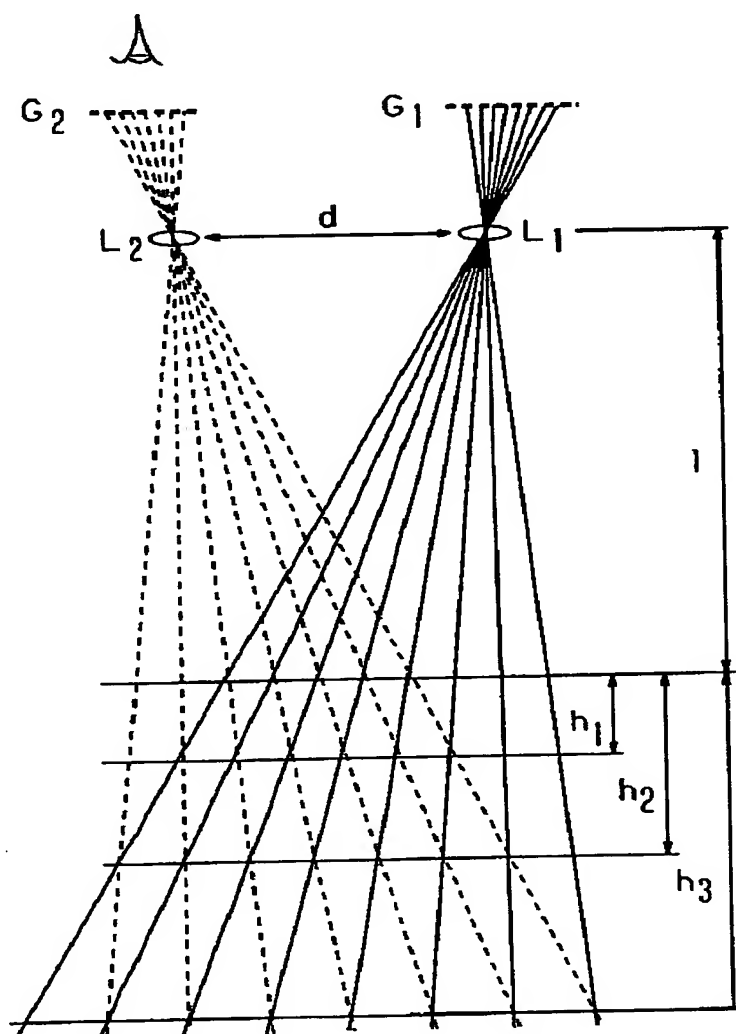
【図 3 5】



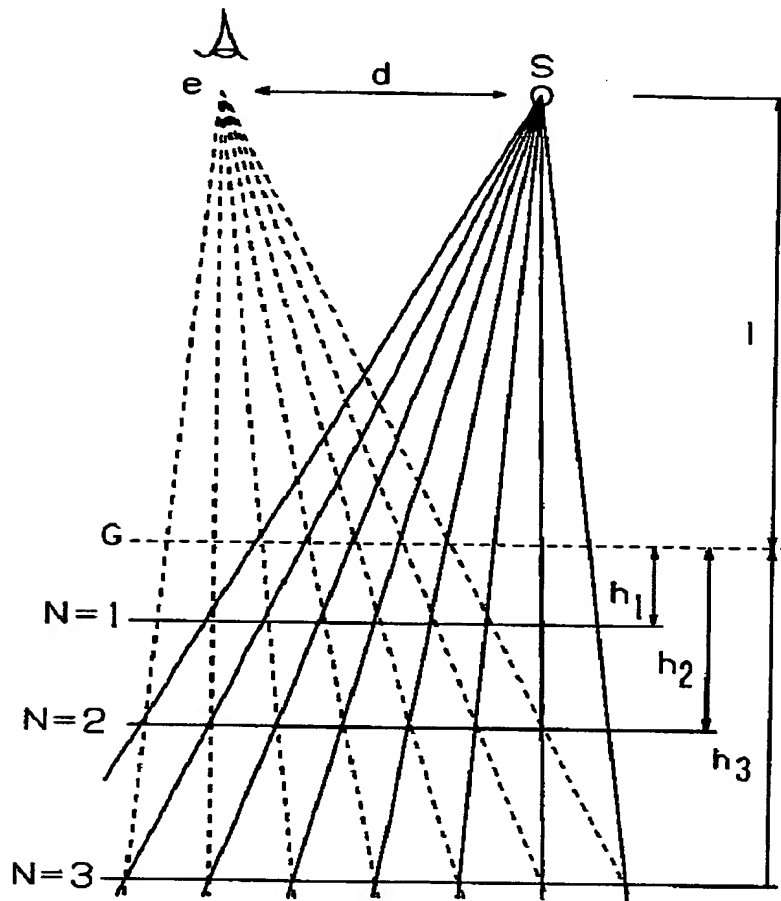
【図 3 6】



【図 3 7】



【図 3 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用できるようにする。

【解決手段】 実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフト誤差なく正確にシフトさせるとともに、例えば撮像カメラにラインセンサカメラを用いてその測定範囲を特定の縞次数近辺に限定して少なくとも3つの位相シフトさせたモアレ縞の画像データを取得させることにより、全縞次数の正確な位相シフトを考慮する必要がなく、実体格子型のモアレ法に対して位相シフト法を簡単かつ支障なく適用して被検物の表面形状を高精度に測定できるようにした。

【選択図】 図4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 6 7 4 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

氏 名

株式会社リコー

ンセンサカメラの1ラインの走査時間と前記格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【0054】

従って、移動機構により格子パターンを光軸方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要が無く、高速かつ高精度に被検物表面の形状を測定することができる。

【0055】

請求項20記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、前記撮像カメラをラインセンサカメラとし、前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるように設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンとし、この段差付き格子パターンを前記ラインセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させる移動機構と、前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動との同期をとる同期手段と、前記ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動との同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【0056】

従って、高さの異なる面を持った段差付き格子パターンを移動機構により段差方向に平行な方向に往復移動させ、ラインセンサカメラの1ラインの走査時間と格子パターンの往復移動との同期動作によって得られたモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要

が無く、高速かつ高精度な形状測定を行うことができる。

【 0 0 5 7 】

請求項 2 1 記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、前記撮像カメラをカラーセンサカメラとし、前記格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に往復移動させて特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせる移動機構と、前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルターと、前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを順次切換えるフィルター切換え機構と、前記カラーセンサカメラの 1 ライン又は 1 フレームの走査時間と前記格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期をとる同期手段と、前記カラーセンサカメラの 1 ライン又は 1 フレームの走査時間と前記格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得られる 3 色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を 3 次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【 0 0 5 8 】

従って、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、カラーセンサカメラの 1 ライン或いは 1 フレームの走査時間と格子パターンの往復移動と色フィルターの切換え動作の同期動作によって得られるモアレ縞の画像データを用いるため、位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度さらに高精細な形状測定を行うことができる。

【 0 0 5 9 】

請求項 2 2 記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、前記撮像カメラをカラーセンサカメラとし、前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるように設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも 3 つの格子面を持つ段差付き格子パターンとし、この段差付

き格子パターンを前記カラーセンサカメラの光軸方向に直交する方向に往復移動させて各格子面の格子パターンを光軸上に位置させる移動機構と、前記被検物と前記カラーセンサカメラとの間に配設された各色毎の色フィルターと、前記カラーセンサカメラの光軸上に位置する前記色フィルターを順次切換えるフィルター切換え機構と、前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期をとる同期手段と、前記カラーセンサカメラの1ライン又は1フレームの走査時間と前記段差付き格子パターンの往復移動と前記色フィルターの切換え動作との同期動作により得られる3色分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【0060】

従って、撮像カメラとしてカラーセンサカメラを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とカラーセンサカメラの1ライン或いは1フレームの走査時間と段差付き格子パターンの往復移動と各色フィルターの切換え動作との同期動作によって得られるモアレ縞データを用いるため、従来のように位相シフトしたモアレ縞の画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして、高精細な形状測定を行うことができる。

【0061】

請求項23記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるように設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンとし、前記撮像カメラを各ラインセンサ毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介して特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせたモアレ像として撮像するように3ライン以上のラインセンサを並設させたラインセンサカメラとし、このラインセンサカメラの各ラインセンサ間の走査時間の同期をとる同期手段と、前記ラインセンサカメラの各ラインセンサ間の走

査時間の同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【0062】

従って、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとラインセンサを3ライン以上並設させたラインセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とラインセンサカメラの1ラインの走査時間との同期動作によって得られた時刻の異なる3ライン以上のモアレ縞の画像データを用いるため、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行うことができる。

【0063】

請求項24記載の発明は、モアレ縞を発生させるための光源及び格子パターンと、そのモアレ縞を撮像するためのレンズ及び撮像カメラを含む受光系と、を有する実体格子型のモアレ光学系を検査光学系として用いる表面形状測定装置であって、前記格子パターンを特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるように設定された光軸方向の高さの異なる少なくとも3つの格子面を持つ段差付き格子パターンとし、前記撮像カメラを少なくとも3ライン分の特定エリアに対して各ライン毎に前記段差付き格子パターンの異なる格子面を介して特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせたモアレ像として撮像するように配設させたエリアセンサカメラとし、前記エリアセンサカメラの前記特定エリアの各ライン間の走査時間の同期をとる同期手段と、前記エリアセンサカメラの前記特定エリアの各ライン間の走査時間の同期動作により得られる少なくとも3ライン分の位相シフトさせたモアレ縞の画像データに基づく演算処理により被検物表面の形状を3次元的に測定する演算処理手段と、を備える。

【0064】

従って、3つ以上の高さの異なる面を持った段差付き格子パターンとエリアセンサカメラとを用い、被検物と検査光学系の相対位置関係とエリアセンサカメラの1フレームの撮像時間との同期動作によって得られた3枚以上のモアレ縞の画像データを用いるため、従来のように位相シフトした画像を取得するために被検物を複数回撮像する必要がなく、高速かつ高精度にして高精細な形状測定を行う

ことができる。

【0065】

請求項25記載の発明は、請求項19ないし24の何れか一記載の表面形状測定装置において、前記検査光学系による前記被検物の検査領域を複数に分割し、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向と直交する方向に順次移動させる領域内移動機構と、前記検査光学系と前記被検物との相対位置関係を前記検査領域の分割方向に順次移動させる分割方向移動機構と、を備える。

【0066】

従って、被検物と検査光学系との相対位置関係を検査領域の分割方向とこの分割方向に直交する方向とに順次移動させる両方向の移動機構を備えているので、被検物全面の3次元的な測定を行うことができる。

【0067】

請求項26記載の発明は、請求項14ないし25の何れか一記載の表面形状測定装置において、前記被検物として円筒状被検物を測定対象とする。

【0068】

従って、感光体ドラム等の表面形状の測定を高精度かつ高精細に行うことができる。

【0069】

請求項27記載の発明は、請求項14ないし25の何れか一記載の表面形状測定装置において、前記被検物として平面状被検物を測定対象とする。

【0070】

従って、液晶パネル等の表面形状の測定を高精度かつ高精細に行うことができる。

【0071】

【発明の実施の形態】

<第一の実施の形態>

本発明の第一の実施の形態を図1ないし図5に基づいて説明する。

【0072】

まず、本実施の形態の説明に先立ち、その基本となるモアレ法による3次元計測法の原理と位相シフト法について説明する。

【0073】

〔モアレ法による3次元計測法の原理〕

格子 G_1 、 G_2 のピッチを s 、光源 S_1 と観察点 S_2 との距離を d 、光源 S_1 、観察点 S_2 と格子面との距離を l とする。同一平面内にある格子 G_1 と G_2 は何れもピッチ s をもつが、格子 G_1 、 G_2 は面内で互いに ε だけずれている（格子ピッチの位相でいえば、 $2\pi\varepsilon/s$ ）ものとする、形成されるモアレ縞は、

$$\cos(2\pi/s)[\{dh - \varepsilon(h+1)\}/(h+1)] \dots\dots\dots (1)$$

と表せる（図1）。形成されるモアレ縞（等高線）は、格子面を基準（0次）として、格子面から離れるに従い、順に1次、2次とカウントされる縞次数を持つ。そこで、縞次数 N のモアレ縞を $\cos 2\pi N$ とする。その結果、第 N 次のモアレ縞の等高線は基準面から h_N だけ離れた位置、

$$h_N = \{(Ns + \varepsilon)l\}/(d - Ns - \varepsilon) \dots\dots\dots (2)$$

に形成されることになる。これは、測定面上の位置の座標 x を含んでおらず、縞次数 N によって（ x に関わり無く）定める固有の値となっている。即ち、等高線が形成されていることを示す。

【0074】

図2のような構成をとった場合、 S_1 を点光源として、 S_2 の位置に観察点をおき、また、1枚の連続した（従って、 $\varepsilon = 0$ となる）格子パターン G を配したものに相当する（実体格子型という）。 $\varepsilon = 0$ であるので、（2）式から、

$$h_N = Nsl/(d - Ns) \dots\dots\dots (3)$$

が成り立つ。ただし、等高線といいながら、その間隔 $\Delta h_N = h_{N+1} - h_N$ は一定ではなく、縞次数 N によって異なってしまう。

【0075】

〔位相シフト法の説明〕

位相変調された縞画像は、光の強度 I により、

$$I = I(\theta) = a(x, y) + b(x, y)\cos(\Phi(x, y) + \theta)$$

ただし、 a ：オフセットバイアス、 b ：振幅、 θ ：操作可能な位相、 Φ ：高さ

hに相当する位相値
と表せる（図3参照）。

【0076】

ここで求めたいのは測定面上の各点(x, y)における位相 $\Phi(x, y)$ である。
バイアスや振幅は、表面の反射率や汚れなどで変化する未知数成分なので、位相
 θ を0、 $\pi/2$ 、 π と変化させた3つの縞画像

$$I_1 = I(0) = a(x, y) + b(x, y)\cos(\Phi(x, y) + \theta)$$

$$I_2 = I(\pi/2) = a(x, y) - b(x, y)\sin(\Phi(x, y) + \theta)$$

$$I_3 = I(\pi) = a(x, y) - b(x, y)\cos(\Phi(x, y) + \theta)$$

を生成する。

【0077】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \{ (I_3 - I_2) / (I_1 - I_2) + \pi/4 \} \dots\dots (4)$$

この(4)式により位相 $\Phi(x, y)$ を算出すれば、反射率や汚れ成分を除去し
て、各点(x, y)における位相 $\Phi(x, y)$ を求めることができることとなる。

【0078】

＜本実施の形態の原理＞

前述した(3)式や図2から分かるように、実体格子型のモアレ光学系に位相
シフト法を適用しようとした場合、縞次数Nにより縞間隔 Δh_n が異なる。よっ
て、モアレ縞を位相シフトさせようとした場合、或る縞次数Nでは正確に位相シ
フトできるが、その他の縞次数ではずれてしまう。

【0079】

そこで、本実施の形態では、まず、全ての縞次数を対象とはせず、特定の縞次
数のモアレ縞のみを所望の位相だけ正確に位相シフトさせることを基本とする。
そして、実体格子型のモアレ光学系による測定範囲を、図4に示すように、正確
に位相シフトさせた特定の縞次数の高さ（シフト誤差なし）を基準に数個の縞次
数（例えば、 ± 1 次数）内に限定する。この場合、測定範囲の端でシフト誤差が
最大になるので、そのシフト誤差による測定誤差が充分小さくなるように測定範
囲を設定する（図4参照）。この手法により、実体格子型のモアレ光学系に対し
て位相シフト法を簡単かつ支障なく適用できることとなる。

【0080】

＜本実施の形態＞

上述の原理に基づく測定装置の一例として図5に示す構成例が挙げられる。検査光学系1内には光源2と格子パターン3と、感光体ドラムのような円筒状被検物4の表面形状によって形成されるモアレ縞を撮像するためのレンズ5及び撮像カメラとしてのラインセンサカメラ6による受光系とが内蔵されている。これらの光学系は図2に示したような原理の実体格子型のモアレ光学系を構成している。

【0081】

或る位置において検査光学系1を円筒状被検物4の表面に対向させ、円筒状被検物4をチャック7を介して回転モータ8で回転させながらラインセンサカメラ6でモアレ縞を撮像する。

【0082】

このようにラインセンサカメラ6を用いて円筒状被検物4のモアレ縞を撮像することにより、円筒状被検物4の位置が常にほぼ同じ高さになるため（円周方向のわずかな範囲のみを撮像するため）、測定範囲を特定の縞次数を基準に数個の縞次数近辺に限定することが可能となる。

【0083】

また、撮像カメラとして、ラインセンサカメラ6に代えて、エリアセンサカメラを用い、上述の考えに従って特定の縞次数を基準に数個の縞次数近辺に限定された測定範囲を視野とする特定エリアの画像データのみを使うことによっても実現可能である。

【0084】

測定動作としては、まず、1回目の撮像後、モアレ縞の位相を所望の位相として $\pi/2$ だけ位相シフト機構（図示せず）により正確にシフトさせて2回目の撮像を行い、さらに位相をもう $\pi/2$ だけ位相シフト機構により正確にシフトさせて3回目の撮像を行い、これらの3つの位相シフトしたモアレ縞の画像データに基づき、演算処理手段（図示せず）における（4）式の演算処理から円筒状被検物4の3次元的な表面形状を計算すればよい。即ち、ラインセンサカメラ6より

得られた画像データはA/D変換された後、パソコン等の演算処理手段に出力され、演算処理手段において3つの位相シフトされた画像データについての演算処理により位相計算が行われ、(4)式に基づき3次元座標、即ち、表面形状が得られるものである。この演算処理は、後述する各実施の形態でも同様である。

【0085】

ここでは、 0 、 $\pi/2$ 、 π の3ステップの位相シフト法に関して述べたが、このステップ数は位相シフト法を適用するために必要な最小ステップ数であり、さらに多くのステップ数を用いることももちろん可能である。

【0086】

ところで、円筒状被検物4表面上に発生するうねりや凹み欠陥は高低差が数 μ mレベルであり、目視でも検出が困難である。このような欠陥を検出するためには、検査光学系1において、受光系の倍率をかなり高倍率にする必要がある。高倍率にすると撮像視野は狭くなり、一度に検査できる範囲が狭くなり、検査領域を軸方向に複数に分割し、各検査領域毎に順次検査していく必要が生ずる。従って、より現実的には、図5中に示すように、検査光学系1を円筒状被検物4の軸方向にガイド機構9を持たせた分割方向移動機構として1軸の自動ステージ10上に搭載し、或る検査領域での1周分の撮像が終わったら、自動ステージ10により検査光学系1全体を次の検査領域に移動させ、その検査領域の撮像を行わせる。このような撮像と移動とを繰返すことにより、円筒状被検物4の全面の撮像が可能となる。

【0087】

なお、検査光学系1を移動させる代わりに円筒状被検物4側を移動させてもよい。つまり、検査光学系1と円筒状被検物4との相対位置関係を変化させるための分割方向移動機構を設ければよい。これは、後述する何れの実施の形態についても、同様に適用できる。

【0088】

＜第二の実施の形態＞

本発明の第二の実施の形態を図6ないし図8に基づいて説明する。本実施の形態は、概略的には、光源と観察点（受光系の撮像点）との間の間隔を変化させる

ことにより、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにしたものである。

【0089】

まず、モアレ縞の位相をシフトさせるために光源 S_1 と観察点 S_2 の距離 $d = d_0$ を Δd だけ変化させることを考える(図6参照)。図6中の左側に示すように、 $d = d_0$ のときの $(N+1)$ 次のモアレ縞の等高線は(3)式から

$$h_{N+1} = \{(N+1)s_1\} / \{d_0 - (N+1)s\} \dots\dots\dots (5)$$

の位置に形成される。

【0090】

次に、図6中の右側に示すように、 $d = d_0 + \Delta d$ に変化させた場合のシフト後の N 次のモアレ縞までの h'_N は、

$$h'_N = Ns_1 / \{(d_0 + \Delta d) - Ns\} \dots\dots\dots (6)$$

となる。

【0091】

従って、図7に示すように格子移動前の第 N 次と第 $N+1$ 次のモアレ縞間の位相 Φ_n の位置に、格子移動後の第 N 次のモアレ縞があると仮定すると、

$$h_N + (h_{N+1} - h_N)(\Phi_n / 2\pi) = h'_N \dots\dots\dots (7)$$

が成立する。この(7)式に(5)(6)式を代入し整理すると

$$\Delta d = \{-d_0(d_0 - Ns)\Phi_n\} / [2\pi N\{d_0 - (N+1)s\} - d_0\Phi_n] \dots\dots\dots (8)$$

を得る。この(8)式により Δd と位相シフト量 Φ_n の関係が明らかになった。

【0092】

ここで、 $s = 83.3\mu\text{m}$ 、 $l = 200\text{mm}$ 、 $d_0 = 70\text{mm}$ 、格子移動前の縞次数 $N = 2$ の縞を正確に 2π シフトさせることを考える。つまり、 $N = 2$ 、 $\Phi_2 = 2\pi$ とする。以上のパラメータを(8)式に代入すると、 $\Delta d = -d_0 / 3 = -23.3\text{mm}$ となる。この Δd による格子移動前後のモアレ縞等高線の位置を図6に示す。この結果位相 2π に相当する高さ $h_{2\pi} = 239.423\mu\text{m}$ となる。また、図6から分かるように、移動前 $n = 3$ の高さでは正確に位相が 2π シフトするが、移動前 $N = 2$ 、4 の高さではシフト誤差 $\Delta\Phi_{\pm 1}$ が生じる。このシフト誤差が測定精度に

影響を及ぼさない範囲に、測定範囲を限定する。前述した図5のような構成でラインセンサカメラ6を用いて円筒状被検物4のモアレ縞を撮像した場合、円筒状被検物4の位置が常にほぼ同じ高さになるため、測定範囲を数個の縞次数内に限定することが可能である。

【0093】

測定の手順を説明する。 d の初期値を d_0 、(8)式において $\Phi_n = 0, \pi/2, \pi$ としたときの変化量 Δd を $\Delta d_0 (= 0)$ 、 Δd_1 、 Δd_2 とすると、まず、 $d = d_0$ 状態で円筒状被検物4の1周分のモアレ縞を撮像する(ステップ0)。次に、 $d = d_0 + \Delta d_1$ として2回目のモアレ縞撮像を行い(ステップ1)、さらに $d = d_0 + \Delta d_2$ として3回目の撮像を行う(ステップ2)。次に、撮像した3枚の画像から(4)式を用いて円筒状被検物4の形状を計算する。

【0094】

距離 d を変化させるために観察点(撮像カメラ=ラインセンサカメラ6)を移動させる場合、注意すべきことは位相シフトさせた各画像において撮像位置もシフトしてしまうことである。その補正方法を以下に示す。

【0095】

まず、1回目のモアレ縞の撮像を図8(a)に示すような配置で行う。つまり、円筒状被検物4の $N_1 \sim N_9$ の地点に対して、ラインセンサカメラ6のカメラ画素1で N_1 地点を、カメラ画素2で N_2 地点を、...というように撮像する。よって、1回目の撮像において、 N_5 地点はカメラ画素5で撮像している。

【0096】

次に、ラインセンサカメラ6をずらすことにより距離 d を $\Delta d/4 = \pi/2$ だけ変化させ、2回目の撮像を図8(b)に示すように行う。ここでは、カメラ画素1で円筒状被検物4の N_3 地点を、カメラ画素2で N_4 地点を、...というように1回目の撮像とは異なった地点を撮像することになる。よって、2回目の撮像において N_5 地点はカメラ画素3で撮像することになったとする。

【0097】

さらに、ラインセンサカメラ6をずらすことにより距離 d を $\Delta d/4$ 、合計 $\Delta d/2 = \pi$ だけずらし、3回目の撮像を図8(c)に示すように行う。ここでは

、カメラ画素1で円筒状被検物4の N_5 地点を、カメラ画素2で N_6 地点を、…
 というようになったとする。よって、3回目の撮像において N_5 地点はカメラ画
 素1で撮像することになる。

【0098】

このように、例えば、 N_5 地点の画像は、1回目はカメラ画素5で、2回目はカ
 メラ画素3、3回目はカメラ画素1、というように一定の間隔でずれていること
 が分かる。

【0099】

そこで、各地点 $N_5 \sim N_{12}$ 地点の位相を求めるために、2回目の撮像で得ら
 れた画像を2画素横ずらした画像を、同じように3回目の撮像で得られた画像を
 4画素横ずらした画像を各々用いることにより、(4)式から位相を計算すること
 ができる。

【0100】

<第三の実施の形態>

本発明の第三の実施の形態を説明する。本実施の形態は、概略的には、被検物
 の位置を位相シフト機構としての被検物移動機構（図示せず）により撮像カメラ
 =ラインセンサカメラ6の光軸方向に変化させることにより、特定の縞次数のモ
 アレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにしたものである。

【0101】

例えば、図2において、 h_N の高さ位置に円筒状被検物4を設定し1回目の撮
 像を行う。次に、円筒状被検物4を h_N の高さ位置から格子パターンGから遠ざ
 かる方向に順次 $\Delta h_N/4$ 、 $\Delta h_N/2$ だけ、被検物移動機構（図示せず）を用
 いて移動させて各々2回目、3回目の撮像を行う。回転モータ8にはロータリー
 エンコーダ（図示せず）を設けておき、3回の撮像開始位置を合わせておく。撮像
 した3枚のモアレ縞に関する画像データから(4)式を用いた演算処理手段での演
 算処理により円筒状被検物4の形状を計算する。

【0102】

本発明の第四の実施の形態を図9ないし図11に基づいて説明する。本実施の
 形態は、概略的には、撮像カメラ=ラインセンサカメラ6の光軸上における格子

パターン3の位置を位相シフト機構としての格子パターン変位機構（図11参照）により変化させることにより、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけシフトさせるようにしたものである。

【0103】

位相をシフトさせるために格子パターンの位置を1から光軸方向に Δl_p だけ変化させることを考える（図9）。移動前の $N+1$ 次のモアレ縞等高線は(3)式から、

$$h_{N+1} = \{(N+1)s\} / \{d - (N+1)s\} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

【0104】

次に、格子を移動させてモアレ縞をシフトさせることを考えると、シフト後の第 N 次の縞までの距離 h_N' は、

$$h_N' = Ns(1 + \Delta l_p) / (d - Ns) \dots\dots\dots (9)$$

となる。従って、図9に示すように格子移動前の第 N 次と第 $N+1$ 次のモアレ縞間の位相 Φ_n の位置に、格子移動後の第 N 次のモアレ縞があると仮定すると、

$$h_N + (h_{N+1} - h_N)(\Phi_n / 2\pi) = h_N' + \Delta l_p \dots\dots\dots (10)$$

が成立する。この(10)式に(5)(9)を代入し整理すると、

$$\Delta l_p = 1s\Phi_n / [2\pi\{d - (N+1)s\}] \dots\dots\dots (11)$$

を得る。この(11)式により格子移動量 Δl_p と位相シフト量 Φ_n の関係が明らかになった。

【0105】

ここで、 $s = 83.3\mu m$ 、 $l = 200mm$ 、 $d = 70mm$ 、格子移動前の縞次数 $N = 3$ の縞を正確に 2π シフトさせることを考える。つまり、 $n = 3$ 、 $\Phi_3 = 2\pi$ とする。以上のパラメータを(11)式に代入すると、 $\Delta l_p = 239.138\mu m$ となる。この $N = 3$ 、 $\Phi_3 = 2\pi$ としたときの Δl_p を Δl とし、格子移動前後のモアレ縞等高線の位置を図10に示す。この結果、位相 2π に相当する高さ $h_{2\pi} = 239.995\mu m$ となる。また、図10から分かるように、移動前 $N = 4$ の高さでは正確に位相が 2π シフトするが、移動前 $N = 3, 5$ の高さではシフト誤差 $\Delta\Phi_{\pm 1}$ が生じる。その絶対値は等しく

$$|\Delta\Phi_{\pm 1}| = 0.286 \text{ (}\mu\text{m)}$$

となる。 2π に相当する高さ $h_{2\pi} = 239.995 \text{ (}\mu\text{m)}$ なので、 $\Delta\Phi_{\pm 1}$ を位相(rad)で表すと、

$$|\Delta\Phi_{\pm 1}| = 2\pi \times 0.286 / 239.995 = 7.48 \times 10^{-3} \text{ (rad)}$$

となる。

【0106】

このシフト誤差格は測定範囲を子移動前の $N=4$ の高さを基準高さとし、その上下 $\pm 240 \mu\text{m}$ の範囲に限定すれば、高さ分解能 $1 \mu\text{m}$ レベル($2.61 \times 10^{-2} \text{ rad}$)の測定を考えた場合、充分小さいといえる。前述した図5のような構成でライセンカメラを用いて円筒状被検物のモアレ縞を撮像した場合、円筒状被検物の位置が常にほぼ同じ高さになるため、測定位置を数個の縞次数内に限定することが可能である。

【0107】

測定手順について説明する。(11)式から分かるように Δl_p と Φ_n は線形なので、 $\Phi_3 = 0$ 、 $\pi/2$ 、 π としたときの変化量 Δl は0、 $\Delta l/4$ 、 $\Delta l/2$ となる。

【0108】

まず、格子パターン3の位置を受光系の光軸方向に変化させる格子パターン変位機構としての図11に示すような格子移動用自動ステージ11を図5に示した構成に付加し、格子パターン3の位置1の設定で、まず、円筒状被検物4の1周分のモアレ縞を撮像する。格子移動用自動ステージ11としては、光軸方向にガイド機構12を持った1軸の自動ステージを用いればよい。具体的には、回転モータやリニアモータ、圧電素子等を使った自動ステージが考えられる。

【0109】

次に、格子パターン3を格子移動用自動ステージ11により移動させ、格子パターン3の位置1を初期位置から $\Delta l/4$ 、 $\Delta l/2$ だけ順次移動させて円筒状被検物4の1周分のモアレ縞を各々撮像する。回転モータ8にはロータリエンコーダ(図示せず)を設けおき、3回の撮像開始位置を合わせておく。撮像した位相シフトされた3枚のモアレ像の画像データに基づく(4)式を用いた演算処理手段

での演算処理により円筒状被検物4の形状を計算する。

【0110】

本発明の第五の実施の形態を図12ないし図15に基づいて説明する。前述した各実施の形態では、位相シフトさせたモアレ縞の画像を得るために、同じ個所（測定範囲）を3回以上撮像する必要があったが、本実施の形態以降では、実体格子型のモアレ光学系において、1回の撮像で少なくとも3つの位相シフトさせたモアレ縞の画像を取得できるようにしたものである。

【0111】

このうち、本実施の形態の測定方法について、図12を参照して説明する。まず、時刻 $t = t_1$ においては格子パターン3は初期位置にセットされており、ラインセンサカメラ6は円筒状被検物4上の領域1を測定範囲として撮像するものとする。

【0112】

次に、時刻 $t = t_2$ においては格子パターン3を光軸方向に $\Delta 1/4$ だけ移動させてラインセンサカメラ6で円筒状被検物4上の領域2を撮像し、さらに時刻 $t = t_3$ においては格子パターン3を光軸方向にさらに $\Delta 1/4$ 、合計 $\Delta 1/2$ だけ移動させてラインセンサカメラ6で円筒状被検物4上の領域3を撮像する。

【0113】

時刻 $t = t_4$ においては格子パターン3を光軸方向に $\Delta 1/4$ だけ戻してラインセンサカメラ6で円筒状被検物4上の領域4を撮像し、さらに時刻 $t = t_5$ においては格子パターン3を光軸方向にさらに $\Delta 1/4$ 、従って、初期位置に戻してラインセンサカメラ6で円筒状被検物4上の領域5を撮像する。以下、同様に繰返す。

【0114】

格子パターン3の時系列な動きとラインセンサカメラ6の撮像タイミングとの関係を図13に模式的に示す。このようなタイミング制御による同期動作は、例えば、演算処理手段として機能するパソコン等を同期手段としても利用し、図13に示すようなタイミング制御を行うようにすればよい。

【0115】

このようにして得られた画像を模式的に示すと図 1 4 に示すようになるので（ラインセンサカメラ 6 の出力を時系列的に展開して示している）、最初の 3 列目までの各位相毎のモアレ縞の 3 つのデータと (4) 式とを用いた演算処理手段による演算処理で領域 1 ～ 3 の形状測定を行い、3 列目から 5 列目までの各位相毎のモアレ縞の 3 つのデータと (4) 式とを用いた演算処理手段による演算処理で領域 3 ～ 5 の形状測定を行う、という具合に全面の形状測定を行う。

【0 1 1 6】

なお、本実施の形態の場合、格子パターン 3 を光軸方向に移動させる位相シフト機構としての格子パターン変位機構は、前述の図 1 1 に示したように、光軸方向にガイド機構 1 2 を持った 1 軸の格子移動用自動ステージ 1 1 を用いればよい。具体的には、回転モータやリニアモータ、圧電素子等を使った自動ステージが考えられる。

【0 1 1 7】

本来であれば、各測定範囲（領域）毎に 3 回以上位相シフトした画像を各々撮像して (4) 式から位相を計算すべきであるが、図 1 5 に示す位置関係により、例えば領域 1 ～ 3 の幅 $m = 30 \mu\text{m}$ （各領域幅 $10 \mu\text{m}$ ）、円筒状被検物 4 の半径 $r = 15 \text{mm}$ 、とすると幅 m における高低差 x は (9) 式から $7.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ となる。

【0 1 1 8】

$$r^2 = (r - x)^2 + m^2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

これは、測定すべきうねりや凹みの高低差（数 μm ）に比べ、無視できるレベルである。また、うねりや凹みは円周方向に長く存在するので、領域 1 ～ 3 の間で急激な変化を起こすようなことは考えにくい。よって、欠陥のない場合、領域 1 ～ 3 を形状変化のない同一平面と見做すことにより、上述した位相シフト法を適用することができる。この手法を用いることにより、円筒状被検物 4 は 1 回転させるだけでよく、また、格子パターン 3 の移動方向は光軸方向のみでよい。

【0 1 1 9】

この場合、検査光学系 1 は分割方向移動機構としての自動ステージ 1 0 により円筒状被検物 4 の軸方向に移動可能で、円筒状被検物 4 自体は領域内移動機構と

しての回転モータ 8 により回転可能であるので、円筒状被検物 4 の全面を 3 次元的に撮像走査してその表面形状を測定することができる。このような全面測定は他の実施の形態でも同様である。

【0120】

本発明の第六の実施の形態を図 16 ないし図 19 に基づいて説明する。本実施の形態では、前述した格子パターン 3 に代えて、図 16 に示すような段差付き格子パターン 21 を用いるようにしたものである。この段差付き格子パターン 21 は、光軸方向に 3 つの高さの異なる格子面 21a, 21b, 21c を有するもので、各々の高さは各々 $\Delta 1 / 4$ ずつずらして正確に形成されている。このような段差付き格子パターン 21 をラインセンサカメラ 6 の光軸上に配置させ、後述する移動機構によりこの段差付き格子パターン 21 を光軸方向に直交する方向に往復移動させることにより、格子面 21a, 21b, 21c 上の各格子パターンを光軸上に順次位置させるものである。

【0121】

図 17 に示すように、時刻 $t = t_1$ においては段差付き格子パターン 21 の位置は最上位の格子面 21a にセットされており、ラインセンサカメラ 6 はその最上位の格子面 21a の格子パターンを通して円筒状被検物 4 上の領域 1 を撮像する。次に、時刻 $t = t_2$ においては段差付き格子パターン 21 を移動させ 2 段目の格子面 21b の格子パターンを通して領域 2 を撮像し、さらに、時刻 $t = t_3$ においては段差付き格子パターン 21 を移動させ最下位の格子面 21c の格子パターンを通して領域 3 を撮像する。

【0122】

段差付き格子パターン 21 の時系列な動きとラインセンサカメラ 6 の撮像タイミングとの関係を図 18 に模式的に示す。このようなタイミング制御による同期動作は、例えば、演算処理手段として機能するパソコン等を同期手段としても利用し、図 18 に示すようなタイミング制御を行うようにすればよい。

【0123】

このようにして得られたモアレ縞の画像データは図 14 に示した場合と同じになるので、後は前述の第五の実施の形態の場合と同じ方法で測定を行う。

【0124】

なお、段差付き格子パターン21をその段差方向に平行な方向に往復移動させる移動機構としては、図19に示すように、光軸方向に直交する方向にガイド機構22を持った1軸の格子移動用自動ステージ23を用いればよい。具体的には、回転モータやリニアモータ、圧電素子等を使った自動ステージが考えられる。

【0125】

本発明の第七の実施の形態を図20ないし図23に基づいて説明する。本実施の形態では、撮像カメラとして前述したラインセンサカメラ6に代えて、図20に示すようなRGB3色のカラーラインセンサ31R、31G、31Bを有するカラーラインセンサカメラ（カラーセンサカメラ）31を用いるようにしたものである。このようなカラーラインセンサカメラ31に対応させてカラーラインセンサカメラ31と格子パターン3との間の光路上にはRフィルター32R、Gフィルター32G、Bフィルター32Bなる各色毎の色フィルターが進退自在に設けられている。

【0126】

図20を参照して本実施の形態の測定方法について説明する。まず、カラーラインセンサカメラ31の1ラインの走査時間内において、時刻 $t = t_1$ では格子パターン3を初期高さ位置としRフィルター32Rを用いてカラーラインセンサ31Rにより領域1を撮像し、時刻 $t = t_2$ では格子パターン3を $\Delta 1/4$ だけずらしGフィルター32Gを用いてカラーラインセンサ31Gにより領域1を撮像し、時刻 $t = t_3$ では格子パターン3を初期高さ位置から $\Delta 1/2$ だけずらしBフィルター32Bを用いてカラーラインセンサ31Bにより領域1を撮像する。

【0127】

以降の各領域2、3、4、…についても同様に繰返す。

【0128】

格子パターン3とRGB各フィルター32R、32G、32Bの時系列な動きとカラーラインセンサカメラ32の各カラーラインセンサ31R、31G、31Bの撮像タイミングとの関係を図21に模式的に示す。このようなタイミング制

御による同期動作は、例えば、演算処理手段として機能するパソコン等を同期手段としても利用し、図21に示すようなタイミング制御を行うようにすればよい。

【0129】

そうすると、図22に示すように領域1のデータを示す R_1 ラインのデータには格子パターン3の初期高さでのモアレ縞の画像データが、 G_1 ラインには格子パターン3の高さ： $\Delta 1/4$ でのモアレ縞の画像データが、さらに B_1 ラインには格子パターン3の高さ： $\Delta 1/2$ でのモアレ縞の画像データが各々格納されていることになる。これらの3つの画像データと(4)式とを用いて演算処理手段で演算を行うことにより、表面形状の測定を行う。

【0130】

ところで、格子パターン3を光軸方向に沿って往復移動させる格子パターン変位機構としては、図23に示すように、光軸方向にガイド機構33を持った1軸の格子移動用自動ステージ34を用いればよい。具体的には、回転モータやリニアモータ、圧電素子等を使った自動ステージが考えられる。また、RGBの各色フィルター32R、32G、32Bを切換えるフィルター切換え機構としては、図23に示すようにロータリ式のRGBフィルター32とし、回転モータ35の回転により切換えるようにすればよい。図23に示すような装置構成で、図21に示したようなタイミングに合わせて回転速度を決定すればよい。

【0131】

本実施の形態によれば、同一の領域について3つのモアレ縞の画像データを同時（同一フレーム内）に取得しているので、前述の第六の実施の形態の場合よりも、測定範囲を細かく分割して測定することができる。

【0132】

本発明の第八の実施の形態を図24ないし図26に基づいて説明する。本実施の形態は基本的には前述の第七の実施の形態の場合と同様であるが、撮像カメラとして前述のカラーラインセンサカメラ31に代えて、図25、図26に示すようなカラーエリアセンサカメラ（カラーセンサカメラ）36を用いるようにしたものである。

【0133】

本実施の形態のようなカラーエリアセンサカメラ36使用時の格子パターン3とRGB各色フィルター32R, 32G, 32Bの時系列な動きとカラーエリアセンサカメラ36の撮像タイミングとの関係を図24に模式的に示す。このようなタイミング制御による同期動作は、例えば、演算処理手段として機能するパソコン等を同期手段としても利用し、図24に示すようなタイミング制御を行うようにすればよい。

【0134】

この場合、図25に示すように、カラーエリアセンサカメラ36においてはそのw画素幅全域を使用するわけではなく、前述の如く、位相シフト誤差を無視できる程度に限定された測定範囲に対応した、特定の画素列(v画素)分のデータのみを用いる。

【0135】

このように設定することにより、図26に示すように1フレーム目撮像においては、v画素中のRデータには格子パターン3の初期高さでのモアレ縞の画像データが、Gデータには格子パターン3の高さ： $\Delta 1/4$ でのモアレ縞の画像のデータが、さらにBデータには格子パターン3の高さ： $\Delta 1/2$ でのモアレ縞の画像データが各々格納されていることになる。これらの位相シフトされた3つのモアレ縞の画像データを用いることにより、v画素の範囲内の表面形状の演算・算出が可能となる。そして、円筒状被検物4を回転モータ8により回転させながら、2、3、…フレーム目と測定を繰返すことにより全周の測定を行う。

【0136】

本実施の形態によれば、一度に数ライン分（ここでは、3ライン分）の測定を行うことができる。1フレーム1/30秒のNTSC式のカラーエリアセンサカメラではあまり高速化は期待できないが、高速カメラを用いれば測定時間の短縮も可能となる。

【0137】

本発明の第九の実施の形態を図27ないし図29に基づいて説明する。本実施の形態では、前述したようなカラーラインセンサカメラ31と段差付き格子パタ